

# Vurdering av tiltak for reduserte overløp til Lysakerfjorden ved utvidelse av VEAS.

Beregning av tilførsler og dimensjonering av diffusor utført i 2005 som grunnlag for gjennomføring av planlagte tiltak

Illustrasjon:



## RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

<b>Tittel</b> Vurdering av tiltak for reduserte overløp til Lysakerfjorden ved utvidelse av VEAS. Beregning av tilførsler og dimensjonering av diffusor utført i 2005 som grunnlag for gjennomføring av planlagte tiltak.	<b>Løpenr. (for bestilling)</b> 6490-2013	<b>Dato</b> 19.3.2013
	<b>Prosjektnr. Undern.</b> 25291	<b>Sider Pris</b> 37
<b>Forfatter(e)</b> Birger Bjerkeng Jan Magnusson	<b>Fagområde</b>	<b>Distribusjon</b>
	<b>Geografisk område</b> Akershus	<b>Trykket</b> NIVA

<b>Oppdragsgiver(e)</b> Vestfjorden Avløpselskap (VEAS)	<b>Oppdragsreferanse</b> A. Haarr/K.G. Berg
--	--

**Sammendrag**

Før gjennomføring av tiltak med reduksjon av overløp til Lysakerfjorden ved økt rense- og utslippskapasitet ved VEAS renseanlegg i Vestfjorden ble det i 2005 gjort en enkel beregning av virkningene det ville ha på tilførsene til overflatelaget i fjorden. I tillegg ble det vurdert hvordan den diffusorutvidelsen som da ble nødvendig ville virke også for mindre vannføringer. Konklusjonen var at tiltaket medfører en total avlastning på fjorden av fosfor på mellom 2-8 %, når 50 % av overløpsvannet gjennomgår kjemisk rensing. Direktetilførselen av næringssalter fra overløpsvannet til fotosyntesesonen reduseres, og dette vil bidra til noe mindre planteplanktonbiomasse i fjorden. I Lysakerfjorden vil badevannskvaliteten forbedres og kloakksjøpøbelastningen reduseres. Overføringen vil også ha en positiv effekt på Vestfjorden. Et utvidet diffusoranlegg vil måtte gi noe mindre gunstig fortynning og innlagring for lave og normale vannføringer enn før utvidelsen. Det er foreslått justeringer av løsningen for å minimere disse ulempene. Den løsningen som er foreslått i rapporten representerer en balanse mellom hensynet til å kunne ta imot store vannmengder ved flom for å unngå overløp og hensynet til innlagrings- og fortynningsforholdene i vanlige driftssituasjoner.

<b>Fire norske emneord</b> 1. Overløp 2. Diffusordimensjonering 3. Dypinnlagring 4. Indre Oslofjord	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Free overflows 2. Diffusor dimensioning 3. Depth entrapment 4. Inner Oslofjord
---	--



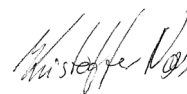
Birger Bjerkeng for Jan Magnusson

Prosjektleder



Kai Sørensen

Forskningsleder



Kristoffer Næs

Forskningsdirektør

ISBN 978-82-577-6225-4

## **Vurdering av tiltak for reduserte overløp til Lysakerfjorden ved utvidelse av VEAS.**

Beregning av tilførsler og dimensjonering av diffusor utført i 2005  
som grunnlag for gjennomføring av planlagte tiltak.

## Forord

På oppdrag av Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS) har Norsk institutt for vannforskning foretatt en enkel beregning av tilførsler av dagens forurensninger til Lysakerfjorden, samt fremtidige tilførsler til indre Oslofjord etter at overløpsvann er overført til VEAS. Videre skulle NIVA vurdere utvidelsesplanene til VEAS' diffusorprosjekt, sett i lyset av mest gunstig løsning for innlagring og fortynning av det rensede avløpsvannet.

Oslo, 29.12.2005

*Jan Magnusson*

Denne rapporten ble skrevet i 2005, men ble da bare levert som underlag til planarbeidet, og ikke gjort ferdig som offentlig tilgjengelig NIVA-rapport. Det tiltaket som er vurdert i rapporten ble gjennomført med virkning fra høsten 2008.

I forbindelse med aktuelle planer om videre utvidelse av renseanlegget har det nå blitt aktuelt å utgi den som NIVA-rapport. Rapporten trykkes slik den ble skrevet i 2005, men noen endringer er gjort i tittel og sammendrag for å klargjøre at det er et tidligere arbeid som nå produseres som rapport.

Oslo, 18.4.2013

*Birger Bjerkeng*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Vurdering av effekten på fjorden av å overføre vann fra overløp til VEAS</b>	<b>7</b>
<b>3. Vurdering av teknisk løsning for diffusorutvidelse</b>	<b>16</b>
3.1 Metode	16
3.1.1 Generelt	16
3.1.2 Utforming av diffusorer ved justering av design-spesifikasjoner	16
3.1.3 Beregning av trykkehøyde ved valgte test-vannføringer i hver diffusor	17
3.1.4 Kombinasjon av resultater for enkeltdiffusorer - interpolering til trykkehøyde ved valgte verdier for samlet vannføring	17
3.1.5 Beregning av utstrømning fra hver diffusor ved gitt samlet vannføring	17
3.1.6 Innlagrings- og fortynningsberegninger	17
3.2 Inngangsdata og spesifikasjoner	17
3.2.1 Diffusorgeometri for eksisterende og utvidet anlegg	17
3.2.2 Hydrauliske spesifikasjoner for diffusor og rørledninger	18
3.2.3 Hydraulisk dimensjonering av tunnelen	19
3.2.4 Tetthetsprofiler for beregning av fortynning og innlagring	19
3.3 Resultater	20
3.3.1 Oppsummering av beregninger på opprinnelig foreslått løsning	20
3.3.2 Beregninger på justert løsning.	21
3.3.3 Vurdering av forhold mellom strålebredde og hullavstand for justert løsning	27
<b>4. Oppsummering og konklusjon</b>	<b>28</b>
<b>5. Litteratur</b>	<b>28</b>
<b>Vedlegg A. Forslag til dimensjonering av utvidet diffusoranlegg</b>	<b>29</b>
<b>Vedlegg B. Beregnet utstrømning fra diffusoranlegg i dag og etter utvidelse</b>	<b>33</b>

---

## Sammendrag

I 2005 ble det planlagt å utvide rense- og utslippskapasiteten ved VEAS renseanlegg ved Vestfjorden, slik at anlegget kunne håndtere større flomvann-mengder enn før, og derved minske overløp som kunne påvirke overflatelaget i Lysakerfjorden. I den sammenheng vurderte NIVA på oppdrag for VEAS hvilken virkning dette ville ha på fjorden.

Konklusjonene av dette arbeidet i 2005 var som følger:

Overføringen estimeres å føre til en total avlastning på fjorden av fosfor på mellom 2-8 %, forutsatt at 50 % av overløpsvannet gjennomgår kjemisk rensing. I tillegg vil bakteriekonsentrasjonen i avløpsvannet reduseres og innlagring av det rensede (og urensede) overløpsvannet vil for en stor del skje under sprangsjiktet, hvilket effektivt forhindrer restmengder av bakterier fra å nå overflaten. Videre vil direktetilførselen av næringssalter fra overløpsvannet til fotosyntesesonen reduseres og dette vil bidra til noe mindre planteplanktonbiomasse i fjorden. Effekten av dette er ikke kvantifisert.

I Lysakerfjorden vil badevannskvaliteten forbedres og det vil bli en reduksjon i kloakksøppelbelastningen som har vært et problem i området, spesielt ved Sollerudstrandens badeplass.

Overføringen til VEAS av overløpsvannet vil således forbedre miljøet i Lysakerfjorden, men også ha en positiv effekt på Vestfjorden. Den negative effekten ved større utslipp av ammonium til mellomlagene (nitrifisering) vil trolig oppveies av noe forbedret utskiftning av mellomlag ved større ferskvannstilførsel på disse dyp, samt ved den mindre tilførselen av fosfor og nitrogen til fjordens overflatelag i sommerhalvåret.

Disse positive virkningene er knyttet til situasjoner med stor vannføring, ved at vann som i dag går urensert ut og kan nå overflaten blir overført til dyputslipp etter delvis rensing. Når diffusor-anlegget utvides med grunnere hull for å håndtere slike situasjoner, vil det imidlertid bli noe mindre gunstig for lave og normale vannføringer enn før utvidelsen. Dette er det ikke mulig å unngå når alt vann går ut gjennom en felles tunnel og sjakt. Den foreslåtte, justerte løsningen vil imidlertid holde innlagringsdypet innenfor de samme grenser som i dag, selv om fordelingen innenfor disse grensene blir forskjøvet noe i retning av innlagring høyere opp. Ved store vannføringer vil endringene bli mindre, og det er ikke problemer med innlagring og fortynning av maksimal vannføring på 11 m<sup>3</sup>/s i et utvidet anlegg; forholdene blir ikke særlig annerledes enn for dagens maksimalvannføring på 6.8 m<sup>3</sup>/s gjennom det eksisterende anlegget.

Den foreslåtte løsningen representerer en balanse mellom hensynet til å kunne ta mot store vannmengder ved flom for å unngå overløp og hensynet til innlagrings- og fortynningsforholdene i vanlige driftssituasjoner.

Utvidelsen ble gjennomført og satt i drift i 2008, og har resultert i vesentlig redusert overløp til Lysakerfjorden.

## Summary

Title: Transfer of water from emergency overflow av Lysaker to VEAS sewage treatment plant  
Year: 2013

Author: Jan Magnusson, Birger Bjerkeng

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6225-4

In 2005 it was planned to increase treatment and discharge capacity at VEAS sewage treatment plant in Vestfjorden, in order have the plant handling more of the runoff during floods, and thus reduce overflows that could affect surface waters in Lysakerfjorden. In connection with this, NIVA assessed the effects this would have in the fjord. The plan also included some increase in capacity for chemical treatment during flood peaks.

The conclusions from this work in 2005 were as follows:

The transfer is estimated to reduce total load of phosphorus to the fjord by 2-8 %, provided that 50 % of the transferred volume is chemically treated. Additionally the concentration of bacteria in the discharge will be reduced, and the effluent plume to a large part entrapped below the pycnocline, and this will prevent the residual bacteria from reaching the surface. Furthermore the direct input of nutrients from sewage to the photosynthetic zone will be reduced, and this will lead to reduced phytoplankton biomass in the fjord. The effect of this has not been quantified.

This will improve the bathing water quality in Lysakerfjorden, and reduce occurrence in the fjord of sewage debris, which has been a problem in particular at Sollerudstranden bathing.

Thus, the transfer of swage to VEAS will improve the environment in Lysakerfjorden, but will also have a positive effect on Vestfjorden. The negative effect of increased input of ammonium to medium-depth layers (nitrification) will probably be compensated by increased exchange of these water layers through larger freshwater input at these depths, and by the decrease in input of phosphorus and nitrogen to the surface layers during summer.

These positive effects are connected to situations with large freshwater runoff, when water volumes that now are discharged untreated, and may reach the surface layers, in the future will be transferred to larger depths after partial treatment. When the diffusor is expanded with new outlet holes at smaller depths than the existing ones, the result will be somewhat less advantageous for low and normal size runoff than before the expansion. This is impossible to avoid when all water is discharged through one single tunnel and shaft. The proposed adjusted solution will, however, keep the entrapment depth within the same range as today, even if the distribution within this range is somewhat shifted in direction of entrapment higher up in the water column.. At large runoff the changes will be smaller, and there are no problems with achieving entrapment and dilution of the maximum runoff of 11 m<sup>3</sup>/s in an expanded diffusor arrangement; the conditions will not be much different from how it is for today's maximum runoff of 6.8 m<sup>3</sup>/s through the existing diffusors.

The proposed solution represents a balance between considerations of the ability to handle large water fluxes during flood episodes and avoiding emergency overflow, and of maintaining satisfactory entrapment and dilution conditions under normal conditions.

The capacity increase was realized and put in operation in 2008, and this has achieved substantial reductions on overflow to Lysakerfjorden.

## 1. Innledning

Det planlegges å utvide diffusorkapasiteten ved VEAS renseanlegg for å kunne håndtere flomvannmengder og unngå overløp til overflatelaget i Lysakerfjorden. Eksisterende overløp ved Lysaker med utslipp til Lysakerfjorden skal i størst mulig grad elimineres ved at vannet overføres til VEAS og blir behandlet (rister etc.) før det slippes ut på mellomnivåer i Vestfjorden gjennom samme diffusoranlegg som det øvrige, fullrensede utslippsvannet. VEAS vil også bruke primærfelling på ca. 50 % av overløpsvannet. Målet er å få innlagring godt under overflatelaget av alt vann også i slike situasjoner. NIVA er blitt bedt om å vurdere hvilken effekt tiltaket vil ha på fjorden, og hvordan løsningen skal dimensjoneres for å sikre tilstrekkelig kapasitet.

I en normal sommersituasjon er vannføringen til VEAS oppgitt å være ca. 2 m<sup>3</sup>/s. Minstevannføring er 1.6 m<sup>3</sup>/s, og i dagens situasjon er maksimal vannføring ca. 6.8 m<sup>3</sup>/s. For å kunne håndtere flomepisoder skal diffusoranlegget dimensjoneres for å kunne ta unna ytterligere 4 m<sup>3</sup>/s, dvs. i alt 11 m<sup>3</sup>/s. For å få til dette, er det planlagt en femte diffusor (F)<sup>1</sup> i sør/sørøstlig retning og i tillegg eventuelt utvidelse av eksisterende diffusorer ved å bore nye hull i ledningene innenfor diffusoren.

Den nye løsningen skal kunne ta 11 m<sup>3</sup>/s ved selvfall fra utløpskummen, også når det er høy vannstand i fjorden. Høyeste nivå i utløpskummen er 6.0 m over normalvannstand i fjorden. En må regne med at vannstanden i fjorden kan bli 0.7 m høyere enn normalt, og tilgjengelig vannstandsforskjell mellom utløpskummen og fjorden blir da redusert til 5.3 m. Utslipsarrangement må være slik at en slik vannstandsforskjell er tilstrekkelig til å få ut 11 m<sup>3</sup>/s. Oppgaven er å vurdere nærmere hvordan dette kan oppnås, gjennom å gjøre dimensjonerende beregninger med programmet DIFDIM.

Utbyggingen gjøres for å håndtere situasjoner som forekommer relativt sjelden, og det er derfor viktig å vurdere hvordan utbyggingen vil innvirke på innlagring og fortykning ved mer vanlige vannføringer. Det er derfor også beregnet hvordan vannet vil fordele seg i et utvidet diffusoranlegg ved normal sommervannføring og ved vannføring lik det som i dag er maksimalt utslipp fra diffusoren.

## 2. Vurdering av effekten på fjorden av å overføre vann fra overløp til VEAS

Overløpet ved Lysaker har forårsaket en del kloakksjøppel i området (Miljøtilsynet, 2002). Det er rester fra papir, bind, Q-tips og kondomer som havner i vannet og på strendene. Badevannskvaliteten ved Sollerudstranda kan bli dårlig (bakterier) og en *antar* at også dette skyldes overløpet. I tillegg tilføres fjorden en del næringssalter og organisk stoff. Utslipet ligger ca. 400 m fra land på 25 meters dyp og har en kapasitet på 17 m<sup>3</sup>/s (Notat til VEAS Råd 9.11.2001). Gjennombrudd av vannet til overflaten forekommer (Sagberg pers.medd.), og næringssalter tilføres fotosyntesesonen og bidrar derved til uønsket planteplanktonproduksjon.

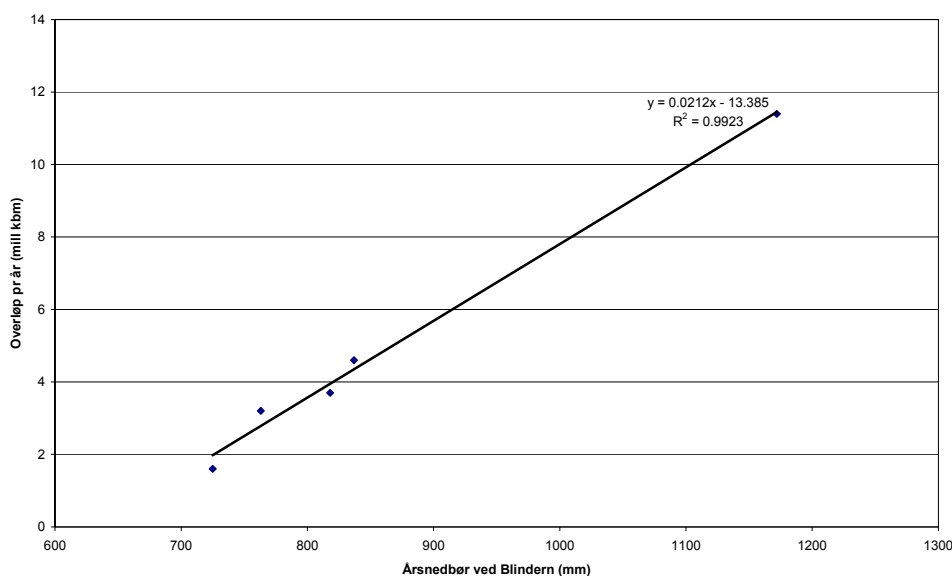
En overføring av vann fra overløpet til VEAS vil i første rekke avlaste de indre deler av Lysakerfjorden fra kloakksjøppel og bakterier. Vannet vil føres til VEAS og der vil flytestoffer etc. bli fjernet før vannet slippes ut i diffusoranlegget til VEAS. Videre vil omtrent halvparten av overløpsvannet behandles med kjemisk rensing som reduserer fosformengde og bakteriekonsentrasjon. Det fortynnede avløpsvannet vil bli innlagret på mellomdyp i fjorden - i hovedsak under fotosyntesesonen sommerstid.

---

<sup>1</sup> E er anvendt som betegnelse på alternative løsninger i planleggingsfasen



Det er i situasjoner med intens nedbør at overløpet vil bli tatt i bruk. Mengden vann som kommer i overløpet vil derfor variere. De siste årene (2000 - 2004) har overløpsmengden variert mellom 1.6 og 11.4 mill. kbm/år (VEAS årsmelding 2004). Imidlertid er det intensiteten i nedbøren som avgjør bruken av overløp, men det virker som om totalmengden av vann i overløp og totalnedbøren i Oslo (Blindern, data fra Meteorologisk institutt) beregnet for hvert enkelt år i perioden er nær korrelert (**Figur 1**). Det er innlysende at denne sammenhengen i enkelte år ikke er korrekt, men her er den kun brukt for å få en statistisk oversikt og derved gi et omtrentlig bilde av overløpsmengden pr. år. Analysen gjelder videre bare for årsnedbør over ca. 630 mm.



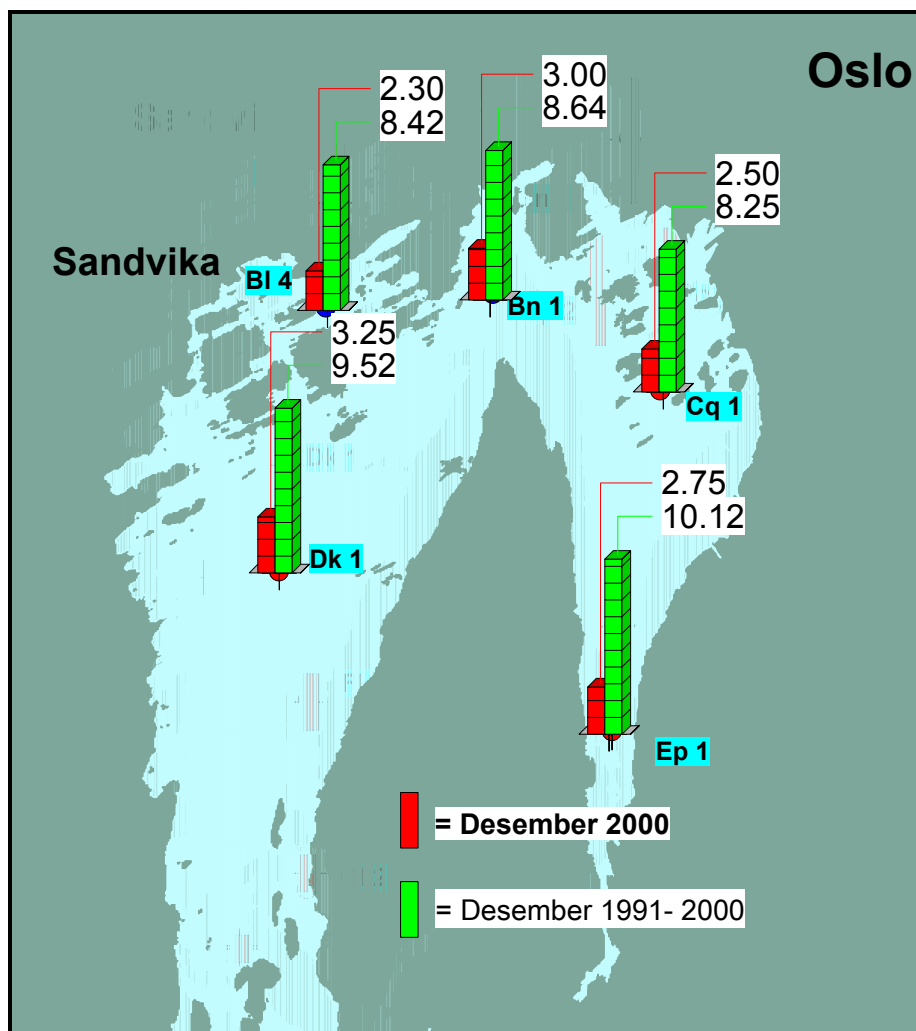
**Figur 1.** Årsnedbør ved Blindern (data fra Meteorologisk institutt) og overløp til VEAS (data fra VEAS årsberetning 2004).  $R^2$  er et mål på hvor stor andel av variansen (kvadrat av avviket fra middelerverdi) i overløpsvannmengde som fanges opp av sammenhengen med årsnedbøren.

### Høsten 2000.

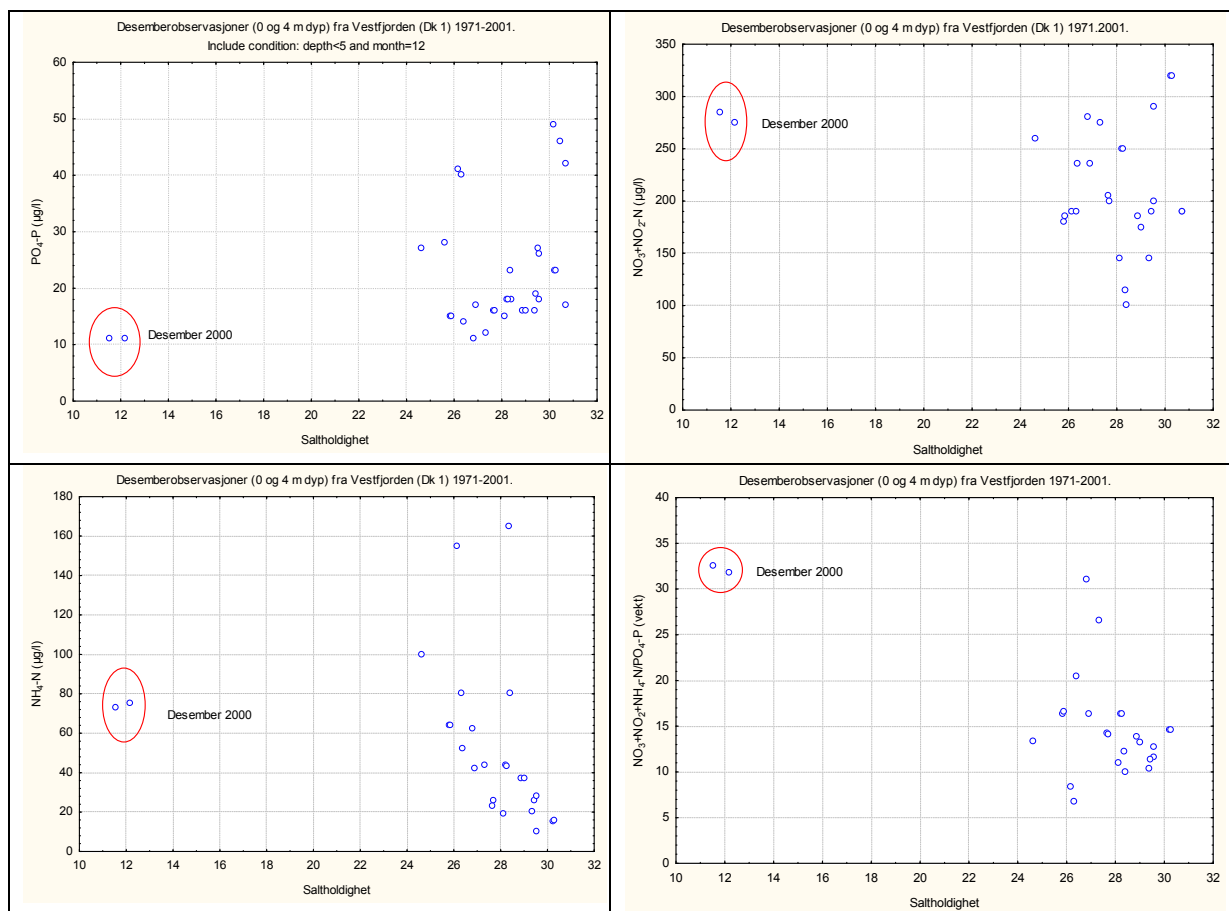
Innenfor perioden 2000 til 2004 var oktober til desember 2000 helt spesiell. Østlandet fikk ekstremt mye nedbør i oktober og november, noe som førte til at året ble det mest nedbørrike siden nedbørmålingene startet ved Blindern i 1895. Året 2000 har således stor innflytelse på analysen i **Figur 1**, men selv om dette året sløyfes, er sammenhengen fortsatt god ( $R^2 > 0.90$ ).

Forholdene i fjorden i desember 2000 ble også helt spesielle med saltholdighet 10-12 i overflatelaget, klart mindre enn normal saltholdighet for årstiden som er 26-30. Siktdypet var også meget lavt (**Figur 2**), og vannet var brunfarget (humus). Når det gjelder næringssalter var det høy nitrogenkonsentrasjon, men ikke ekstremt høy sammenlignet med andre observasjoner fra desember måned; derimot var fosforkonsentrasjonen lav (**Figur 3**). Som følge av lysbegrensning var planteplanktonbiomassen meget lav, som vanlig for årstiden (normalt er det lite lys i desember og nå var det også ekstra begrensende som følge av dårlig siktdyp). Det høye N/P-forholdet viser at en oppblomstring av planteplankton ville blitt begrenset av mengden fosfor. Effekten av den store nedbøren på fjorden ble begrenset, ettersom saltholdigheten og næringssaltkonsentrasjonen var omtrent som normal i februar, dvs. i perioden før våroppblomstringen starter i fjorden. Dette betyr at store deler av brakkvannet ble transportert ut av fjorden mellom desember og februar. De direkte effektene på fjorden ble således begrenset.

Når nedbøren blir så stor som høsten 2000, vil f.eks. Lysakeroverløpet i seg selv ikke ha noen betydning. Når vannmengdene blir så store vil elvetilførslene dominere. Det er derfor ikke nødvendig å dimensjonere tiltaket for å ta hånd om så store vannmengder, da overløpene i slike situasjoner uansett ikke vil dominere tilførslene til overflatelaget i fjorden.



**Figur 2.** Siktdypet desember 12.12.2000, sammenlignet med gjennomsnittlig siktdyp 1991- 2000 (Data fra Fagrådet for indre Oslofjords overvåkingsprogram).



**Figur 3.** Konsentrasjonen og forholdstall av næringssalter i overflatelaget i Vestfjorden (Dk 1) desember 1973-2001, vist mot saltholdighet. I øverste rad konsentrasjon av P i fosfat til venstre og N i nitrat+nitritt til høyre, nederst til venstre N i ammonium og til høyre vektforhold N:P av næringssalter [N i nitrat+nitritt+ammonium]:[P i fosfat]

### Beregning av tilførsler fra Lysakeroverløpet.

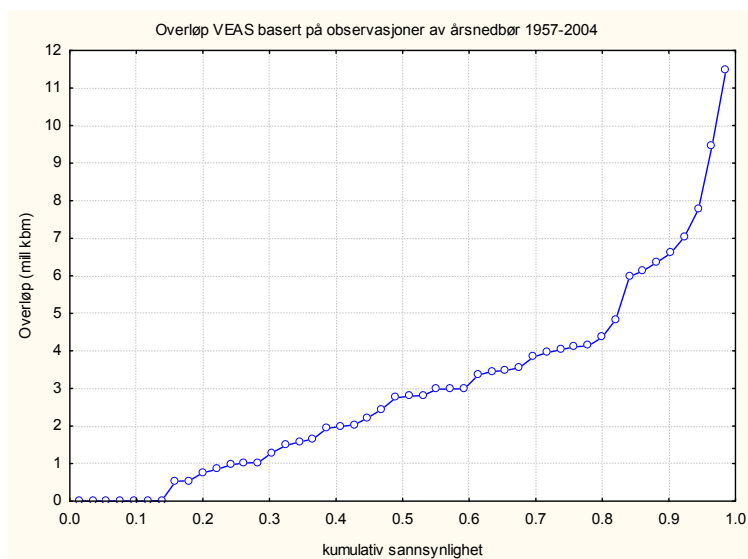
For å se hvor store overløpstilførslene kan tenkes å bli, er sammenhengen mellom årsnedbør ved Blindern (data fra Meteorologisk institutt) og tilførsler av vann fra VEAS' overløp som er vist i **Figur 1** blitt brukt på nedbørsdata fra 1957-2004 for å beregne hvordan årlig vannmengde i overløp vil fordele seg statistisk over årene. Resultatet er vist som en kumulativ fordelingskurve i **Figur 4**. Figuren viser at den årlige mengden av overløpsvann vanligvis vil ligge under 3 mill. kbm pr år. Bare i 20 % av årene vil overløpsvannmengden overstige 4.5 mill kbm og i 10 % vil den bli større enn 6.5 mill. kbm pr år. Ut fra årstilførselen av fosfor (tot-P) og nitrogen (tot-N) hentet fra VEAS årsmelding (2004) er også tilførslene av fosfor og nitrogen via overløp analysert med nedbørsdata fra 1957-2004. Også i denne analysen er det brukt en nedre grense på ca. 630 mm nedbør innen overløp tas i bruk. **Figur 5** og **Figur 6** viser kumulative fordelingskurver for total mengde fosfor og nitrogen i overløpet til VEAS. Analysen viser følgende sammenheng mellom nedbør og tilførsler:

$$\text{Tot-P (tonn/år)} = 0.0192 \cdot \text{mm} - 9.87, \text{ for årsnedbør} > 630 \text{ mm.}$$

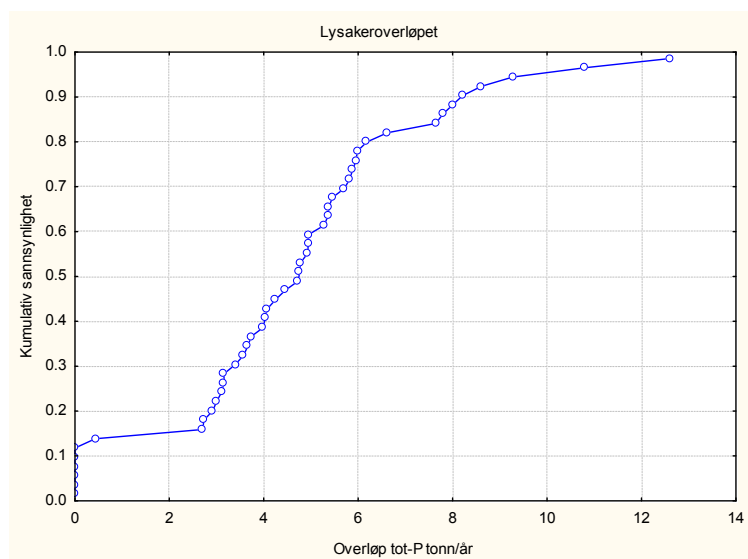
$$\text{Tot-N (tonn/år)} = 0.1622 \cdot \text{mm} - 86.04, \text{ for årsnedbør} > 630 \text{ mm.}$$

Ligningene beskriver mellom 94 og 96 % av variasjonen.

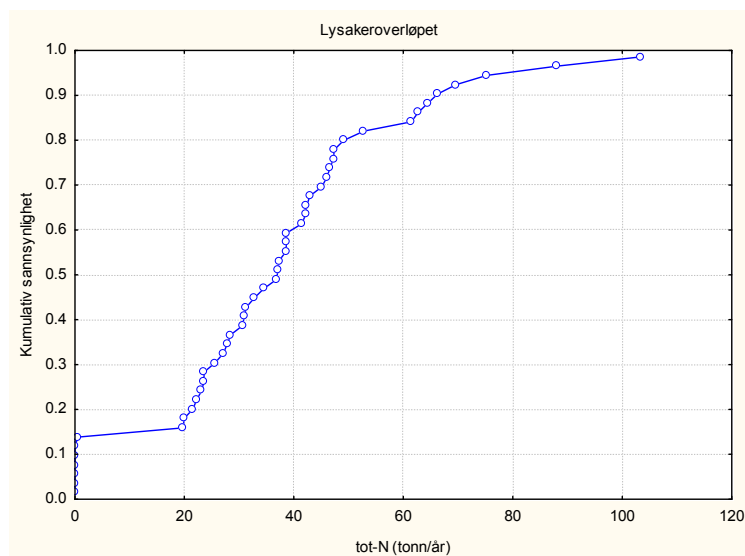
Vanligste forekommende mengde i overløpet pr. år er omtrent 5 tonn P og litt under 40 tonn N. Normalt (kvartiler) vil mengden fosfor variere mellom 3 - 6 tonn/år og mengden nitrogen mellom 22 - 45 tonn/år.



**Figur 4.** Kumulativ fordelingskurve for årlig vannmengde i overløp til VEAS.



**Figur 5.** Kumulativ fordeling for årstilførsel av Tot-P (tonn/år) via overløp.



**Figur 6.** Kumulativ fordelingskurve for årstilførsel av Tot-N (tonn/år) via overløp.

De totale antropogene tilførsene til fjorden er i dag (2003, Selvik m.fl., 2004) ca 47 tonn fosfor og 1 400 tonn nitrogen. De totale tilførsene av nitrogen vil ikke bli forandret ved en overføring av overløpssvann til VEAS, men dypinnlagring vil i sommerhalvåret gi mindre tilførsler av nitrogen til overflatelaget. De totale tilførsene av fosfor vil avta som følge av at ca. 50 % av vannet vil bli renset ved VEAS.

Ikke alt det fosfor og nitrogen (tot-P og tot-N) som tilføres fjorden ved overløp er direkte biotilgjengelig; dvs. at noe av det ikke vil kunne brukes umiddelbart av planteplankton som næring. Biotilgjengeligheten vil også variere med mengden nedbør og med varigheten. Dette er det ikke tatt hensyn i tilførselsberegningene.

Innlagring av avløpsvann i mellomlagene i fjorden vil begrense den direkte tilførselen til fjordens overflatelag, men dette er ikke en effektiv innlagring hele året. Vannutskiftninger vil gjøre at deler av denne vannmassen vil bli løftet opp mot overflaten. Slike vannutskiftninger er ikke vanlige sommerstid, slik at det er i denne perioden en dypinnlagring vil ha størst effekt. Den reelle effekten av dypinnlagring vil således være mindre enn den som er beregnet her, da overløpssvann tilføres fjorden også vinterstid.

Det er ikke tatt hensyn til dette i den følgende sammenligningen av hvilken betydning overføringen til VEAS og dyputslipp kan tenkes å få for fjorden (for eksempel reduksjon i planteplanktonbiomasse eller oksygenforhold). Beregningene bør bare betraktes som overslagsberegninger, da en mer detaljert vurdering av hvilken betydning tiltaket har for fjorden forutsetter bruk av for eksempel NIVAs fjordmodell. Dette har ikke vært formålet med denne rapporten.

Beregningen av dagens tilførsler til overflatelaget er gjennomført med utgangspunkt i tilførselsberegninger for fjorden i 2003 (Selvik m.fl., 2004). Her er det antatt at ca. 4 % av tilførslene fra befolkningen i dag slippes ut i overflatelaget, samt all tilførsel fra jordbruk og en konstant naturlig bakgrunnstilførsel. Totaltilførslene av nitrogen vil ikke endre seg. Derimot vil det skje en reduksjon av fosfortilførselen pga. av den delvise fosfor-rensingen.

Den prosentvise reduksjonen av nitrogentilførsler til overflaten blir beregnet ved:

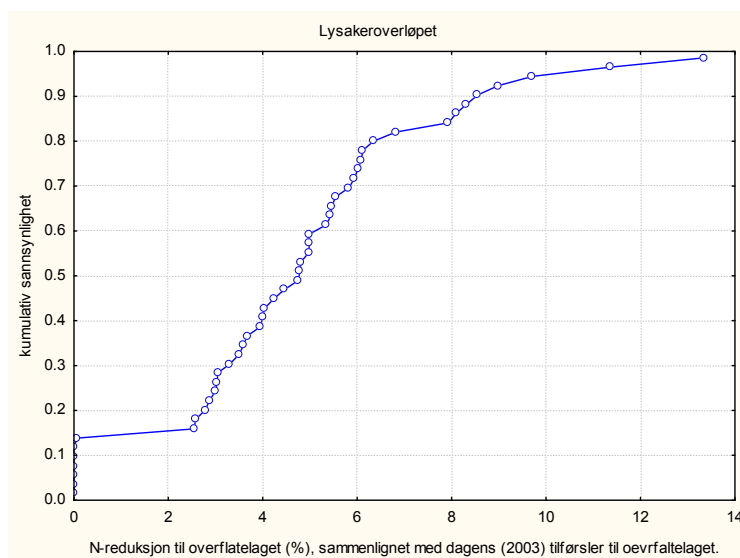
$$\text{Tot-N}_{\text{red}}(\%) = (\text{tot-N})_{\text{Lysaker}} / (\text{tot-N})_{\text{overfl}} \cdot 100 (\%).$$

hvor

$(\text{tot-N})_{\text{Lysaker}}$  = beregnet total tilførsel av nitrogen via overløp ut fra nedbørsdata 1957-2004.

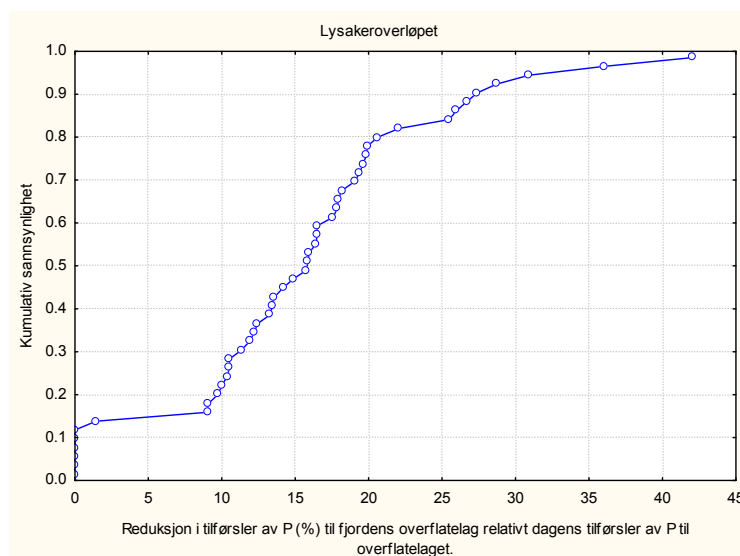
$(\text{tot-N})_{\text{overfl}}$  = overflatetilførslene beregnet av Teofil, inkludert 4 % av tilførslene fra befolkning samt alle tilførsler fra jordbruk og en konstant bakgrunnsstilførsel.

**Figur 7** viser at mellom 3 – 8 % av dagens tilførsler til overflatelaget vil føres ut på dypere vann etter overføringen av Lysakeroverløpet til diffusorutslipp fra VEAS. Effekten av dette vil bli en reduksjon av planteplanktonproduksjonen i sommerhalvåret når nitrogen er vekstbegrensende næringssalt. Den reelle effekten blir således betydelig mindre, fordi planteplanktonproduksjonen største delen av året er fosforbegrenset.



**Figur 7.** Kumulativ fordelingskurve for maksimal beregnet reduksjon av tot-N tilførslene til indre Oslofjords overflatelag på årsbasis pga. overføring av vann fra overløp og utslipp via diffusoren ved VEAS. NB! Bakgrunnsstilførselen er holdt konstant.

Samme beregning er gjennomført for fosfor (**Figur 8**). Mens nitrogenreduksjonen til overflatelaget vil variere mellom 3 - 8 % vil fosforreduksjonen variere mellom 10 – 20 % av dagens overflatetilførsler. I enkelte år kan dette tilsvare observerte årstilførsler fra for eksempel Akerselva.



**Figur 8.** Kumulativ fordelingskurve for maksimal beregnet reduksjon av tot-P tilførslene til indre Oslofjords overflatelag på årsbasis pga. overføring av vann fra overløp og utslipp via diffusoren ved VEAS. NB. Bakgrunntilførselen er holdt konstant.

For fosfor er det også gjennomført en beregning på totalreduksjonen til fjorden ved en antatt renseeffekt på ca 50 % ved VEAS (**Figur 9**). Dette er i overkant av hva en kan forvente, da VEAS angir at 50 % av vannmengden vil bli kjemisk renset. Fordi det er igjen noe fosfor etter rensing, blir renseeffekten noe mindre, men forskjellen er liten sammenlignet med nøyaktigheten i beregningen.

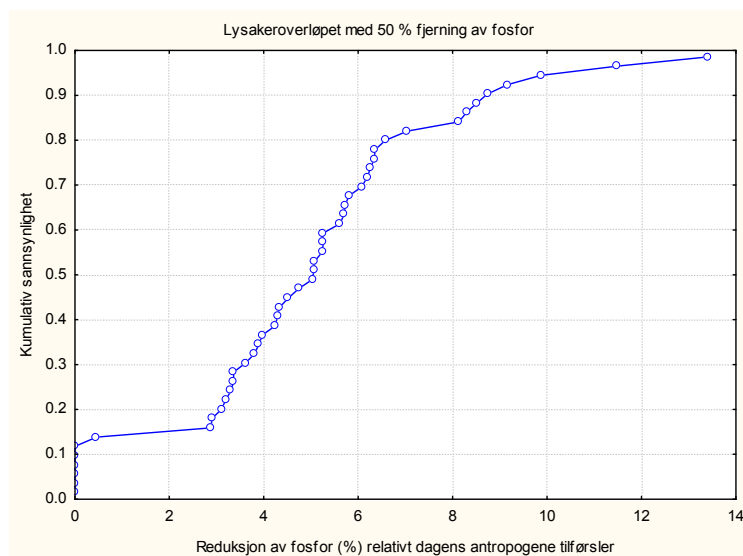
$$(\text{Tot-P})_{\text{red}} = (\text{Tot-P})_{\text{Lysaker}} / (\text{tot-P})_{\text{antropogent}} * 100 (\%)$$

hvor

$$(\text{TotP})_{\text{Lysaker}} = \text{beregnet total fosfortilførsel pr. år via overløp ut fra nedbørsdata 1957-2004.}$$

$$(\text{tot-P})_{\text{antropogent}} = \text{tilførsel fra befolkning i 2003.}$$

Reduksjonen i fosfortilførselen vil bli mellom 3 og 8 % av dagens tilførsler, en ikke ubetydelig reduksjon i sommerhalvåret når planteplanktonproduksjonen er overveiende fosforbegrenset.



**Figur 9.** Reduksjon i fosfortilførsler (tot-P) pr år til indre Oslofjord ved 50 % rensing av overløpsvann fra Lysakeroverløpet sett i forhold til totale antropogene fosfortilførsler i 2003.

Overføring av overløpsvann til dyputslipp i Vestfjorden har også to andre effekter. Vestfjordens mellomlag får tilført mer ferskvann, hvilket vil bidra til redusert egenvekt og derved muligheten for økt vannfornyelse i fjordens mellomnivåer. På den annen side vil mellomlagene motta mer ammonium, noe som igjen vil øke oksygenforbruket i nitrifiseringen av ammonium. Effekten av de samlede forandringer forventes imidlertid å bli positive, men for å beregne dette mer i detalj må fjordmodellen tas i bruk.

Denne vurderingen gjelder netto virkning av tilførsler i flomsituasjoner, hvor det i dag går vann i overløpet til Lysakerfjorden. Endringen i diffusorlaget vil imidlertid også få virkningen i mer normale driftssituasjoner, ved at fortynnet avløpsvann innlagres noe høyere opp. Dette er nærmere vurdert i kapittel 3.



## 3. Vurdering av teknisk løsning for diffusorutvidelse

### 3.1 Metode

#### 3.1.1 Generelt

Målet er å få et bilde av hvilke trykkhøyder<sup>2</sup> i utløpskummen som kreves ved aktuelle vannføringer, og se hvordan vannet da fordeles på ulike diffusorer og på hullene innenfor hver diffusor og hvordan det fortynnes og innlagres. Dette skal gjøres både for diffusoranlegget slik det er i dag og for et utvidet anlegg, slik at en kan sikre at maksimal vannføring kan gå ut gjennom det utvidede anlegget, og samtidig se hvordan fortynning og innlagring endres også i mer normale situasjoner pga. utvidelsen av anlegget.

Dette er gjort ved en kombinert bruk av programmene DIFDIM og JETMIX. Programmet DIFIM beregner de hydrauliske forhold i diffusoren trinnvis fra endehullet og innover, ut fra spesifisering av utstrømnings- eller energiforhold i endehullet og geometriske spesifikasjoner av trinnvis endring av hulldiameter, hullavstand og rørdiameter, og spesifisering av singulærtap. Diffusoren utformes av programmet ut fra disse spesifikasjonene og en angitt design-vannføring. Deretter kan utstrømningen beregnes for et sett testvannføringer. Resultatet er beskrivelse av vannføring, strålediameter og hastighet ut fra hvert hull i diffusoren for de valgte testvannføringene. En får også beregnet trykkhøyden ved enden av utløpsledningen. Programmet JETMIX beregner innlagring og fortynning for ett sett av utslippsstråler og et sett av tetthetsprofiler i resipienten. Det brukes her til å beregne på et representativt utvalg av hull i diffusorene for forskjellige situasjoner, ut fra resultatene fra DIFDIM. Fremgangsmåten er beskrevet nedenfor i kapittel 3.1.2 til 3.1.6.

Beregningene er gjennomført i et par runder. Først ble det beregnet for en utvidelse av anlegget som spesifisert av SWECO Grøner AS i Alternativ F, rev. B. Etter en vurdering av resultatene ble det i samråd med Johnny Høvik ved SWECO Grøner AS gjort noen justeringer av utformingen, som er beskrevet i kapittel 3.2.1. Resultatene i kapittel 3.3 er presentert i detalj bare for den justerte løsningen, men kapitlet innledes av en kort beskrivelse av de foreløpige resultatene og de vurderingene som ga bakgrunn for justeringene.

#### 3.1.2 Utforming av diffusorer ved justering av design-spesifikasjoner

Ut fra tilsendte spesifikasjoner er det først satt opp spesifisering av hver enkelt diffusor som inngangsdata til programmet DIFDIM, med nødvendige geometriske og hydrauliske spesifikasjoner. De data som er lagt til grunn for beregningene med DIFDIM presenteres i kapittel 3.2.1. Utløpsledningen er spesifisert frem til den felles fordelerhatten, og i første omgang beregnes trykkhøyde i fordelerhatten.

Programmet DIFDIM kjøres først separat for hver diffusor med realistiske, men noe vilkårlig valgte spesifikasjoner av utstrømning i endehullene og dimensjonerende vannføring. Det er lagt inn faste geometriske spesifikasjoner av rørdiameter, hullavstand og hulldiameter. Det er valgt svært vide grenser for hastighet i røret, slik at de ikke overstyrer de geometriske spesifikasjonene.

Dimensjonerende vannføring er så justert i gjentatte kjøringar inntil ønsket diffusorutforming oppnås, dvs. slik de eksisterende diffusorene er i dag, og med ønsket antall hull og spesifikasjoner ellers av ny diffusor og nye hull i eksisterende diffusorer. For diffusorer som det er aktuelt å utvide gjøres separate kjøringar for eksisterende og endret utforming. Når ønsket diffusorutforming er oppnådd, fastholdes spesifikasjonene som grunnlag for å beregne hydraulikken ved andre vannføringer.

---

<sup>2</sup> Høydeforskjellen mellom vannnivå i utløpskummen og i fjorden. Vannstandsforskjellen gir et overtrykk i ledningen i forhold til trykket i fjorden, og det er dette som driver vannet ut av diffusoren.

### 3.1.3 Beregning av trykkehøyde ved valgte test-vannføringer i hver diffusor

På grunnlag av justeringene beregnes utstrømningen i hver diffusor for en serie testvannføringer (QTEST) som er valgt slik at de dekker forventet variasjonsintervall. Det gir for hver diffusor opptil 10 punkter på en kurve som viser sammenhengen mellom vannføring i hver enkelt diffusor og trykkehøyde ved fordelerhatten. Dette settet av beregninger gir ikke direkte samsvarende trykkehøyder i de forskjellige diffusorene.

For å få frem en kurve over samlet vannføring i diffusoranlegget som funksjon av trykkehøyde må resultatene for de enkelte diffusorene kombineres. Det gjøres ved at resultatene samles i en datafil og fremstilles i en graf over vannføring i hver diffusor som funksjon av trykkehøyde med statistikk- og grafikk-programmet Statistica<sup>3</sup>. Kurven for vannføring som funksjon av trykkehøyde for hver diffusor interpoleres i grafen ved hjelp av kurvetilpasning. Det er valgt å bruke *spline*-funksjoner (stykkevis tilpasning av polynomer) som gir en god beskrivelse av forløpet som glatte kurver.

### 3.1.4 Kombinasjon av resultater for enkeltdiffusorer - interpolering til trykkehøyde ved valgte verdier for samlet vannføring

Fra Statistica-grafen kan en hente ut en tett serie av interpolerte verdier fra hver kurve. Disse seriene er kopiert inn i et Excel-ark hvor resultatene fra de forskjellige diffusorene sammenstilles slik at en får interpolert mer nøyaktig til samme trykkehøyde i alle diffusorene. En slik samtidig interpolering er gjort for en serie trykkehøyder som dekker det interessante område for total vannføring. For hver trykkehøyde summeres interpolert vannføring i hver diffusor til total vannføring.

Interpoleringsopplegget er slik at en justerer trykkehøyden manuelt inntil samlet vannføring får ønsket verdi. Dette gjøres for et sett av valgte vannføringer, og interpoleringen og summeringen gjøres både for eksisterende og utvidet anlegg. Det er særlig lagt vekt på å se på tre situasjoner:

- Normal vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s for eksisterende og utvidet anlegg
- Dagens maksimalvannføring på 6.8 m<sup>3</sup>/s gjennom eksisterende og utvidet anlegg.
- Maksimal vannføring 11 m<sup>3</sup>/s gjennom utvidet anlegg

### 3.1.5 Beregning av utstrømning fra hver diffusor ved gitt samlet vannføring

For hver av de valgte samlede vannføringer gir interpoleringen en felles trykkehøyde, og en fordeling av vannføringen på de forskjellige diffusorene. Vannføringene for de enkelte diffusorer ved ulike valgte totalvannføringer er lagt inn som en sekundær serie testvannføringer i DIFDIM-beregningen. Resultatene av disse siste DIFDIM-beregningene er en beskrivelse av utstrømningen gjennom hvert hull i diffusorene ved de forskjellige valgte totalvannføringene.

### 3.1.6 Innlagrings- og fortynningsberegninger

Ut fra DIFDIM-beregningene som er beskrevet i kapittel 3.1.5 beregnes fortynning og innlagring med programmet JETMIX for et representativt sett av tetthetsprofiler og utvalg av hull i de forskjellige diffusorene. Resultatene er vurdert i forhold hva som er ønskelig ut fra resipienthensyn.

## 3.2 Inngangsdata og spesifikasjoner

### 3.2.1 Diffusorgeometri for eksisterende og utvidet anlegg

Renseanlegget hadde fra starten 3 diffusorer (A,B,C), hver av dem med 21 hull. Diffusoranlegget ble utvidet i 1986 med en tilleggsdiffusor D; samtidig ble behandlingskapasiteten økt fra 4.2 til 7.0 m<sup>3</sup>/s.

---

<sup>3</sup> StatSoft, Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

Vannet føres fra renseanlegget gjennom en utslippstunnel og sjakt til en fordelerhatt på 22 m dyp, og derfra i separate ledninger til 4 diffusorer. Diffusor A, B og C ligger i en vifte i nordøstlig retning, og diffusor D ligger i sørlig retning. Bunnprofilene er basert på data fra SWECO Grøner. Beskrivelsen av eksisterende diffusorer er oppsummert i **Tabell 1**.

**Tabell 1.** Summarisk beskrivelse av eksisterende diffusorer

Diffusor	Antall hull	Utslippsdyp	Effektiv diameter på endehull	Hulldiametre på sidehull	Hullavstand
A	22	ca. 41 m	24 cm	17-20 cm	3.3 m
B	21	43-55 m	26 cm	15-27 cm	3.6-4 m
C	21	40-50 m	25 cm	17.5-27 cm	3-4 m
D	38	32-38 m	25 cm	15 cm	2 m

Ny diffusor er planlagt mot sør/sørøst, i retning ca. 165° fra hatten på utløpstunnelen. Den nye diffusoren vil ligge godt utenfor omkretsen av det eksisterende anlegget, og derfor kunne trekke inn nytt fortynningsvann.

I utgangspunktet var det regnet med at den nye diffusoren skulle ha 42 hull med endehull på 25.4 cm og sidehull med diameter fra 15 til 17 cm, med utslippsdyp jevnt fordelt fra 42 til 30 m dyp, og at diffusor B skulle utvides til 41 hull med diameter 15 cm og omtrent samme fordeling av utslippsdyp.

En vurdering av resultatene av beregningene for denne løsningen, som beskrevet i kap. 3.3, har ført til at dette er justert i samråd med SWECO Grøner. Det foreslås nå å utvide diffusor B noe mindre enn opprinnelig tenkt, med 15 i stedet for 20 hull, og i stedet også utvide diffusor C med 6 hull med diameter 15 cm. For de innerste 5 hullene i utvidelsen av diffusor B reduseres diameteren til 12 cm. Diffusor F foreslås med 36 i stedet for 42 hull, og diameteren økes til 20-22 cm for de dypeste sidehullene og minskes til 12 cm for de innerste, grunneste hullene. Den detaljerte diffusor-utformingen er vist i tabell i Vedlegg A.

### 3.2.2 Hydrauliske spesifikasjoner for diffusor og rørledninger

DIFDIM-beregningene gjort med følgende hydrauliske spesifikasjoner:

- Ruhet i diffusorer og rørledninger mellom diffusorer og fordelerhatt: 0.5 mm.
- Singulærtap i rørledningen mellom fordelerhatt og diffusorer som trykkehøyde er  $kV^2/g$  hvor  $V$ =hastighet og  $g$  = gravitasjonskonstant 9.81 m/s<sup>2</sup> og med tapskoeffisienter  $k = 1.6$  for diffusor D, og 1.5 for de andre diffusorene.

Mottrykket ved diffusordimensjoneringen er beregnet ut fra tetthetsprofil i **Tabell 2**; tettheten i avløpsvannet er satt til 1.000 kg/l.

**Tabell 2.** Tetthetsprofil brukt til beregning av mottrykk i diffusoren

Dyp m	tetthet kg/l
0	1.01372
4	1.01368
8	1.01447
12	1.0185
16	1.02196
20	1.02333
30	1.02511
40	1.02549
50	1.0256
60	1.02567

### 3.2.3 Hydraulisk dimensjonering av tunnelen

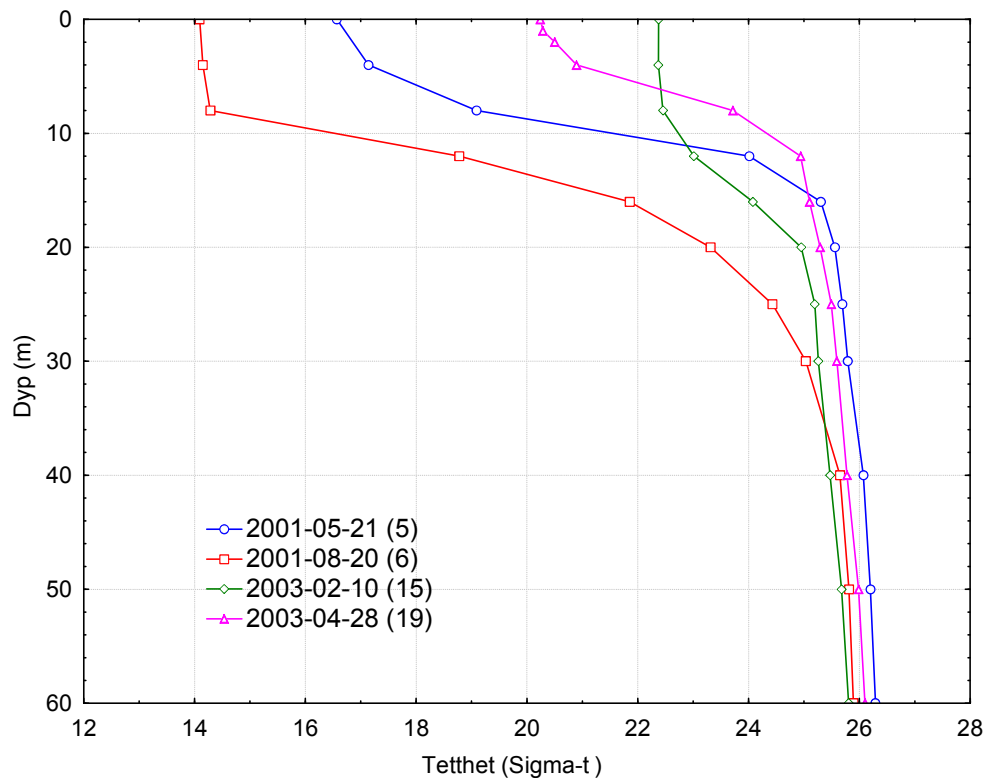
Omregning fra trykkhøyde i fordelerhatten og trykkhøyde ved utløpet fra diffusoren baseres på beregninger og data vist i opplysninger fra SWECO Grøner AS som er oppsummert i **Tabell 3**. Ut fra dette er det brukt en koeffisient  $k_T = 0.01625 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})$  for å beregne trykktap i tunnelen og sjakten som funksjon av samlet vannføring.

**Tabell 3.** Grunnlag for beregning av trykktap i tunnel og sjakt som funksjon av vannføring.

Diffusor		Samlet vannføring $Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Overtrykk i fordelerhatt (m)	Total trykkhøyde ved renseanlegg (m)	Trykktap i tunnel og sjakt $H$ (m)	Koeffisient for trykktap $k_T = H/Q^2$ $\text{m}/(\text{m}^3/\text{s})$
Utvidet	beregnet med EPANET	11.185	3.27	5.30	2.03	0.01626
Eksisterende	beregnet med EPANET	8.837	4.03	5.30	1.27	0.01623
Eksisterende	kalibrert	6.25	2.55	3.19	0.64	0.01626

### 3.2.4 Tetthetsprofiler for beregning av fortynning og innlagring

Her er det brukt tetthetsprofiler fra Stasjon Dk1 i perioden oktober 2001 til og med august 2004, i alt 24 profiler. Alle 24 profilene er brukt for noen få strålespesifikasjoner, og ut fra dette og en visuell inspeksjon av profilene er det plukket 4 profiler som ganske godt representerer spekteret av ulike innlagringsforhold med vekt på år og sommerperioden. Disse profilene er vist i **Figur 10**.



**Figur 10.** Tetthetsprofiler fra stasjon DK1 brukt til fortynnings- og innlagringsberegninger. Tall i parentes viser profilnr. som de er referert til i JETMIX-beregningene.

### 3.3 Resultater

Totalt sett vil en utvidelse av diffusoren føre til lavere trykkehøyder ved gitt vannføring, og at utslippene flyttes i retning av hull med mindre utslippsdyp. For å se hvordan dette slår ut er det først beregnet for den løsningen som ble foreslått av Sweco Grøner (alternativ F, rev. B). Resultatene er diskutert i kapittel 3.3.1. På bakgrunn av dette er utformingen justert noe i samråd med Johnny Høvik hos Sweco Grøner. Beregninger av diffusorhydraulikk og innlagring og fortynning for den justerte løsningen presenteres i 3.3.2.

#### 3.3.1 Oppsummering av beregninger på opprinnelig foreslått løsning

Beregninger som beskrevet ovenfor ble først gjort på den opprinnelig foreslåtte utvidelsen av diffusoren, med 20 nye hull i diffusor B og 42 hull i en ny diffusor F. Resultatene viste at ved tørrværs-vannføringer på 1.6 til 2.0 m<sup>3</sup>/s ville mye av det som i dag går ut gjennom A og C og D flyttes til utvidelsen på diffusor B og den nye diffusor F. **Tabell 4** oppsummerer de endringer en ville få ved total vannføring 2 m<sup>3</sup>/s med en slik utvidelse. Virkningen ville bli størst på diffusor C, og minst på den grunnere diffusor D. Diffusor B ville få økt vannføring og med det meste av utstrømningen gjennom de innerste, grunnere hullene, mens det meste av vannføringsreduksjonen i A, C og D flyttes til den nye diffusoren F. Ved dagens maksimale vannføring på 6.8 m<sup>3</sup>/s ville det bli mer lik reduksjon i vannføring gjennom de eksisterende diffusorene A, C og D.

**Tabell 4.** Beskrivelse av hovedtrekk i endringer i fordeling av vannføring og innlagring og fortynning ved normal-vannføring 2 m<sup>3</sup>/s etter opprinnelig planlagt utvidelse av diffusoranlegg (alternativ F rev.B med 20 ny hull i ledningen til diffusor B).

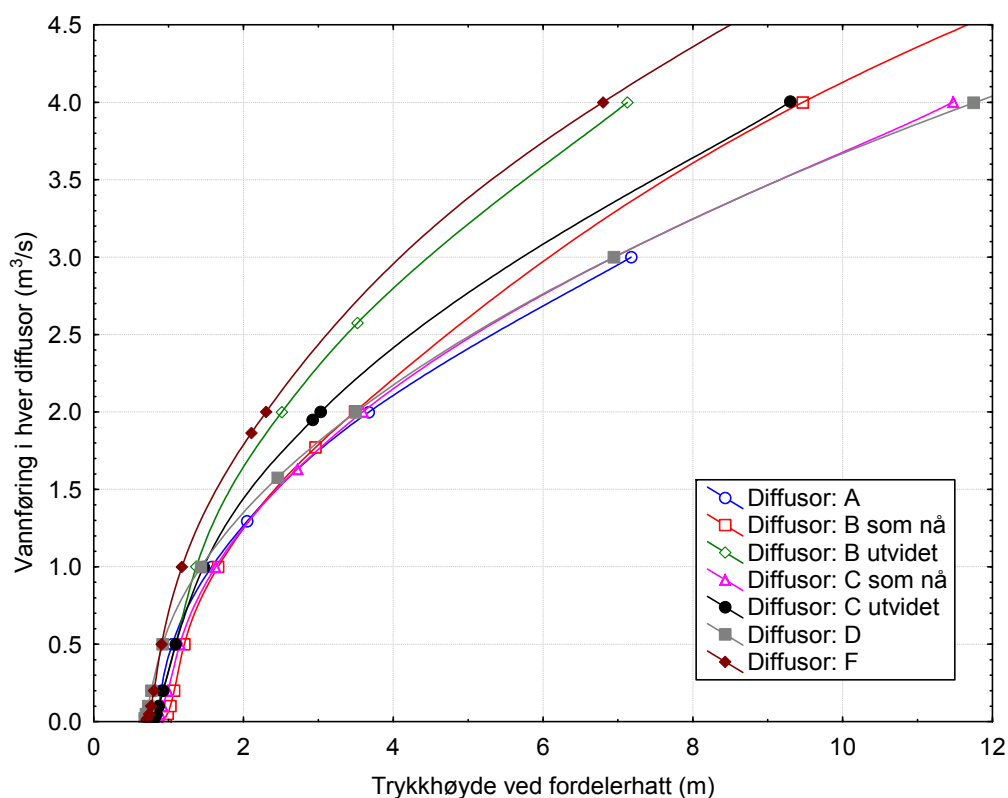
Diffusor	Beskrivelse av endring:
A	Vannmengde redusert fra 570 til 270 l/s. Fortsatt utstrømning fra alle hull. Noe dypere innlagring enn før utvidelsen (2-4 m for endehullet og 1-2 m for sidehullene), og med ca. 30-50 % større fortynning. Minste innlagringsdyp 25 m.
B	Vannmengde økt fra 270 til 414 liter/s, all utstrømning vil skje fra nye hull. Innlagring 10-12 m høyere opp, og med 15-50 % lavere fortynning. Minste innlagringsdyp 18 m.
C	Vannføring redusert fra 423 til 105 liter/s. Utstrømning bare fra de innerste 7 hullene med utslippsdyp 40-43 m. Innlagring 1.4 m høyere opp, med opp til 30 % større fortynning. Minste innlagringsdyp 24 m.
D	Vannføring redusert fra 727 til 504 liter/s. Innlagring 1-2 m dypere, med 0-30 % høyere fortynning. Minste innlagringsdyp 19 m.
F	Vannføring 707 liter/s flyttet fra de andre diffusorene. Minste innlagringsdyp 18 m.

Ved vurdering av denne løsningen er det lagt mest vekt på en vanlig situasjon med samlet vannføring omkring 2 m<sup>3</sup>/s. JETMIX-beregninger er gjort for et sett representative tetthetsprofiler (**Figur 10**) for utvalgte, representative hull ved denne vannføringen. Resultatene viser at en slik utvidelse av anlegget fører til at en vesentlig større del av utslippsvannet vil innlagres høyere opp enn 25 m dyp. Med dagens diffusoranlegg vil ca. 1.5 m<sup>3</sup>/s innlagres under 25 m dyp (diffusor A, B og C), mens ca. 0.5 m<sup>3</sup>/s (diffusor D) kan bli innlagret mellom 25 og 20 m dyp. Etter en utvidelse av anlegget som foreslått vil andelen som innlagres på dyp større enn 25 m minske til ca. 1 m<sup>3</sup>/s (diffusor A og C og de ytterste hullene fra de andre diffusorene) innlagres under 25 meters dyp, mens andelen som stort sett vil innlagres mellom 25 og 20 m dyp øker til ca. 1 m<sup>3</sup>/s, altså til ca. det dobbelte.

Denne endringen er ikke så gunstig, fordi en vesentlig del av det fortynnede utslippsvannet kan komme opp i nedre del av fotosyntesesonen og gi større tilgang til næringssalter. Næringssaltbidraget kommer delvis fra utslippsvannet, men også i stor grad fra næringsrikt fortynningsvann som rives med oppover av strålene under fortynning. På den måten ville endringen kunne bidra til i noen grad å motvirke effekten av den forbedring en har sett i vannkvaliteten av overflatelaget i senere år. Forbedringen har økt tykkelsen av fotosyntesesonen, slik at den kan til tider kan være mer enn 20 m. På bakgrunn av dette er det gjort noen justeringer av utformingen av utvidelsen som beskrevet i kapittel 3.2.1, og resultatene av dette for vannfordeling og innlagring og fortynning er beskrevet i kapittel 3.3.2.

### 3.3.2 Beregninger på justert løsning.

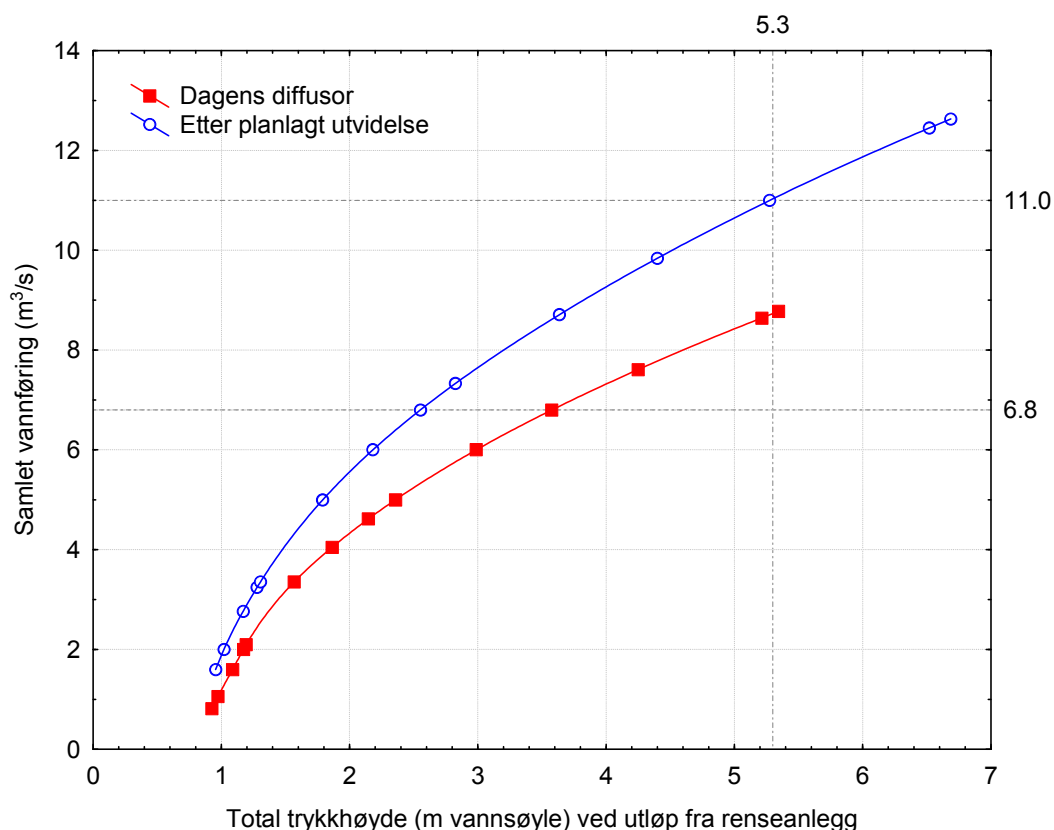
Forslag til justert utforming av utvidelsen av diffusoranlegget er beskrevet i hovedtrekk i kapittel 3.2.1 og vist i detalj i Vedlegg A. **Figur 11** viser sammenhengen mellom vannføring i hver diffusor og trykkehøyde i fordelerhatten ut fra den første runden med testvannføringer som er beskrevet i kapittel 3.1.3. De markerte punktene viser beregnede kombinasjoner av vannføring og trykkehøyde, og kurvene er tilpassede spline-funksjoner.



**Figur 11.** Sammenheng mellom vannføring i hver enkelt diffusor og trykkehøyde i fordelerhatt med spline-funksjoner tilpasset for interpolering.

Spline-funksjonene brukes som grunnlag for å interpolere til valgte verdier på samlet vannføring som beskrevet i kapittel 3.1.4. Resultatene av dette er sammenfattet i **Figur 12**, som viser samlet vannføring som funksjon av trykkehøyde ved utløpet fra renseanlegget, både for eksisterende og utvidet diffusoranlegg. Trykktapet mellom utløpet og fordelerhatten, dvs. gjennom tunnel og sjakt, er da addert til som funksjon av samlet vannføring ut fra data i kapittel 3.2.3.

Som det fremgår av **Figur 12**, resulterer utvidelsen i vesentlig lavere trykkehøyde ved gitt vannføring, slik som hensikten er, og forskjellen blir større jo høyere vannføringen er. Etter utvidelsen vil det kunne gå  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  gjennom anlegget ved en trykkehøyde på  $5.3 \text{ m}$  som spesifisert. Hvis dette skal gjelde ved vannstand  $0.7 \text{ m}$  over det normale, vil det ved normal vannstand kunne gå ca.  $11.8 \text{ m}^3/\text{s}$  gjennom anlegget. En vannføring på  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  vil kreve trykkehøyde på  $7 \text{ m}$ , og dette er ikke realistisk.



**Figur 12.** Sammenheng mellom samlet vannføring i hele diffusoranlegget og trykkehøyde ved utløpet fra renseanlegget.

**Tabell 5** viser hvordan vannføringen fordeler seg på de enkelte diffusorene ved gitt samlet vannføring før og etter utvidelse. Samlet vannføring står som overskrift for hver kolonne, og nedenfor finnes vannføringen gjennom de forskjellige diffusorene, både for dagens utslippsanlegg og med en utvidelse etter en justerte løsningen. Nederst i tabellen er trykkehøyden ved fordelerhatt og ved utløpet fra renseanlegget vist.

En vesentlig forskjell mellom det opprinnelige og det justerte forslaget til utvidelse er at minste utslippsdyp nå er 34 m, mens det opprinnelige forslaget hadde utslippsdyp 30 m for de innerste hullene. I tillegg er huldiameter redusert for de grunneste hullene, slik at en kan få bedre fortynning og innlagring. Dette betyr at fortynnings- og innlagringsforløpet ikke blir endret så mye i ugunstig retning som for den opprinnelige løsningen.

Ved tørrværs-vannføringer på 1.6 til 2.0 m<sup>3</sup>/s vil det også med den justerte utvidelsen være slik at mye av det som i dag går ut gjennom A og C og D flyttes til den nye diffusor F, men endringen blir ikke så stor som for den opprinnelige løsningen. Diffusor B vil nå få omtrent samme vannføring før og etter utvidelsen, mens den opprinnelige utformingen ville gi en økning i forhold til i dag. Vannmengden gjennom diffusor F blir ca. 20-35 % mindre enn i den opprinnelige utformingen av utvidelsen.

Ved total vannføring 6.8 m<sup>3</sup>/s og 11 m<sup>3</sup>/s vil utstrømningen fordele seg mer jevnt på alle hullene i diffusoranlegget.



**Tabell 5.** Fordeling av vann på ulike diffusorer ved forskjellige totale vannføringer før og etter utvidelse av diffusoranlegget, med trykkehøyder i fordelerhatt og ved utløp fra diffusor

Samlet vannføring (m <sup>3</sup> /s)			1,600	2,000	3,353	5,000	6,800	11,000	12,450
Vann- føring (m <sup>3</sup> /s)	Diffusor A	dagens situasjon	0,495	0,579	0,855	1,676	1,480		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,238	0,340	0,597	1,148	1,015	1,869	2.107
	Diffusor B	dagens situasjon	0,141	0,272	0,743	1,707	1,491		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,185	0,250	0,554	1,481	1,284	2,465	2.799
	Diffusor C	dagens situasjon	0,303	0,423	0,790	1,680	1,477		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,175	0,248	0,542	1,298	1,127	2,129	2.414
	Diffusor D	dagens situasjon	0,661	0,727	0,964	1,737	1,551		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,487	0,547	0,742	1,238	1,112	1,928	2.173
	Diffusor F	m, utvidet diffusoranlegg	0,516	0,615	0,918	1,635	1,462	2,609	2.957
Trykk- høyde (m)	Ved fordeler- hatten	dagens situasjon	1,046	1,108	1,385	2,825	2,402		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,914	0,956	1,122	1,800	1,597	3,309	4.000
	Ved utløp fra diffusor:	dagens situasjon	1,087	1,173	1,567	3,576	2,987		
		m, utvidet diffusoranlegg	0,956	1,021	1,305	2,551	2,182	5,274	6.517

Vedlegg B. viser detaljene i beregningene med fordeling av utstrømning på alle hullene ved tre ulike vannføringer, 2.0, 6.8 og 11 m<sup>3</sup>/s, både for det eksisterende anlegget og etter utvidelse.

Utstrømningen fra diffusor A fordeler seg nokså likt på alle hullene både før og etter utvidelse av diffusoranlegget, men utvidelsen fører til mindre utstrømning fra hvert hull. Reduksjonen er ca. 40 % ved total vannføring 2 m<sup>3</sup>/s, og ca. 30 % ved 6.8 m<sup>3</sup>/s. Utvidelsen vil, som nevnt ovenfor, ikke gi særlig endring i total vannføring fra diffusor B ved total vannføring 2 m<sup>3</sup>/s. Utstrømningen vil stort sett skje fra de nye hullene i diffusor B, slik at utslippsdypet blir anslagsvis 8-10 m høyere opp, men med mindre diameter og mindre vannføring i hver stråle for de grunneste hullene sammenlignet med situasjonen før utvidelse. Ved 6.8 m<sup>3</sup>/s blir utstrømningen fordelt på alle hullene i diffusor B. For diffusor C skjer noe av det samme, men det vil også etter utvidelsen strømme ut fra en del av de gamle hullene selv, ved 2 m<sup>3</sup>/s. Utstrømningen fra diffusor D vil fordele seg på alle hullene både før og etter utvidelse også ved total vannføring 2 m<sup>3</sup>/s.

For å se på endringen i fortykning og innlagring er det valgt opp til 10 representative hull fra hver diffusor til bruk i programmet JETMIX. Hvilke hull det gjelder er markert i kolonne 4 i tabellen i Vedlegg A. Resultatene er oppsummert i **Tabell 6** for alle de tre vannføringene og for normal-vannføring 2 m<sup>3</sup>/s i **Figur 13**.

For diffusor A vil redusert vannmengde føre til noe bedre innlagring, og med større fortykning enn før ved normal vannføring. For diffusor B viser **Figur 13** noen tilfeller av innlagring omkring 40 m og

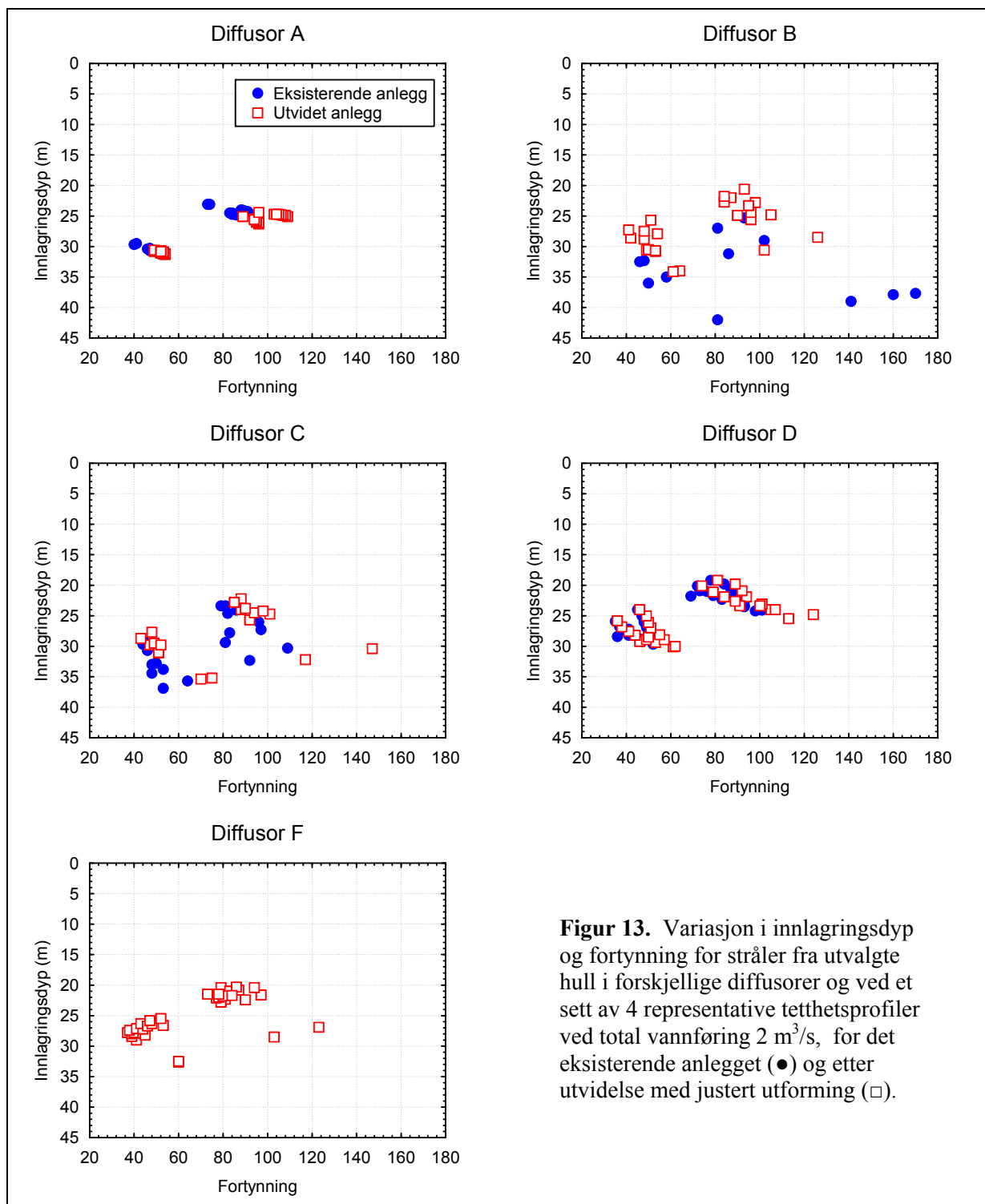
fortynning 80-170 i dagens situasjon; det gjelder endehullet for de fire tetthetsprofilene. For de andre hullene er endringen at vannet stiger 5-8 m høyere før det innlagres, noe mindre enn endringen i utslippsdyp, mens fortynningen ikke endres særlig. For diffusor C er det relativt små endringer, her vil både innlagingsdyp og fortynning variere innenfor omtrent de samme grenser som før; men innlagringen skjer 1-2 m høyere opp i vannmassen.. For diffusor D skjer det ikke noen vesentlige endringer; innlagingsdypet er omtrent uendret mens fortynningen kan blir litt større. For utstrømningen fra diffusor F varierer fortynning og innlagring i samme område som diffusor D allerede har i dag,

Selv med det justerte forslag til utvidelse vil skyen av fortynnet utslippsvann ligge noe høyere opp i vannmassene enn tidligere i vanlige driftssituasjoner, med større andel og hyppigere hendelser med innlagring opp mot 20 m, men en får minste innlagring noe dypere enn ved den opprinnelige løsningen, og det blir noe større andel av vann som innlagres dypere enn 25 m.

**Tabell 6.** Beskrivelse av fortynning og innlagring ved ulike vannføringer (2, 6.8 og 11 m<sup>3</sup>/s) for eksisterende og utvidet diffusoranlegg etter justert forslag.

Z: Innlagingsdyp (m)		S: Senterfortynning ved innlagring (antall ganger)			
Samlet vannføring	Diffusor	Dagens situasjon		Etter utvidelse	
		Z	S	Z	S
2 m <sup>3</sup> /s	A	23.1-30.7	40-91	24.4-31.3	49-109
	<b>B</b>	<b>25.3-42</b>	46-170	<b>20.6-34.1</b>	41-126
	C	23.4-36.9	44-109	22.2-35.4	43-147
	D	19.2-29.7	35-101	19.2-30.1	36-124
	F	-	-	20.3-32.6	37-123
6.8 m <sup>3</sup> /s	A	21.9-31.2	34-71	21.9-30.7	35-76
	<b>B</b>	<b>24.8-40.6</b>	37-75	<b>20.7-41.3</b>	41-87
	C	23.2-37.6	35-76	21.9-37.4	38-82
	D	19.2-29.7	30-77	19.1-29.6	31-83
	F	-	-	19.9-30.1	34-84
11 m <sup>3</sup> /s	A	-	-	22-31.4	34-71
	B	-	-	21.1-40.6	38-83
	C	-	-	22.3-37.6	35-76
	D	-	-	19.3-29.8	30-75
	F	-	-	20.3-30.9	34-79

Ved vannføring 6.8 m<sup>3</sup>/s blir innlagingsdypene innenfor omtrent samme variasjonsområder som ved vannføring 2 m<sup>3</sup>/s, dvs. med innlagring noe høyere opp i vannsøylen for diffusor B og C etter utvidelsen. Fortynningen blir omtrent som i dag eller litt bedre. Ved maksimal vannføring på 11 m<sup>3</sup>/s blir det noe dypere innlagring, men litt lavere fortynning enn for 6.8 m<sup>3</sup>/s; men forskjellene er ikke vesentlige, og resultatene viser derfor at det utvidede anlegget vil kunne håndtere så store vannføringer uten risiko for episoder med dårligere effekt av utslippsarrangementet enn en kan ha i dag ved store vannmengder og homogene tetthetsprofiler.



**Figur 13.** Variasjon i innlagringsdyp og fortynning for stråler fra utvalgte hull i forskjellige diffusorer og ved et sett av 4 representative tetthetsprofiler ved total vannføring  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , for det eksisterende anlegget (●) og etter utvidelse med justert utforming (□).

### **3.3.3 Vurdering av forhold mellom strålebredde og hullavstand for justert løsning**

Et moment som bør tas i betraktning ved utforming av diffusorarrangementer er avstanden mellom hullene. Den bør helst være så stor at strålene ikke kommer i kontakt med hverandre før innlagring, slik at de kan fortynnes effektivt ved innblanding fra alle kanter helt til underkanten av skyen av innlagret avløpsvann. Med hullene fordelt på begge sider av diffusoren bør da hullavstanden være minst halvparten av bredden av strålen ved innlagringsdypet.

De eksisterende diffusorene er utformet med litt forskjellig hullavstand. For diffusor A er den stort sett 3.3 m, for diffusor B 3.6-4 m og for diffusor C 3-4 m. Dette er tilstrekkelig til at en unngår at fortynningen begrenses fordi strålene møter hverandre og overlapper før innlagringsnivået er nådd, for alle aktuelle situasjoner.

Diffusor D har hullavstand 2 m. Det er tilstrekkelig for dagens situasjon ved normalvannføring  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , men kan være noe knapt for større vannføringer, hvor strålebredden kan komme opp i ca. 6 m. Da kan strålene gå sammen i siste del av fortynningsforløpet, slik at innlagring skjer noe høyere opp, og med mindre fortynning enn beregnet for en enkelt stråle. Bredden på strålen blir større jo høyere opp strålene stiger, slik at dette særlig gjelder når tetthetsprofilene er homogene og når innlagringsdypet i utgangspunktet er på det minste.

Dette problemet gjør seg gjeldende i dag, og en utvidelse av diffusoren som foreslått vil faktisk bidra til å minske problemet noe ved gitt vannføring og tetthetsprofil, fordi det vil gå noe mindre vann i diffusor D. Det gjelder selv om den nye diffusor F er foreslått med avstand 2 m mellom hullene for de innerste 7 hullene på dyp 35.2 til 34 m. Dette er foreslått for å unngå utslippsdyp mindre enn 34 m; da dette anses viktigere. For å minimere ulemper ved liten hullavstand er huldiameteren satt relativt liten, til 12 cm, for de innerste hullene i diffusor F. Ved normalvannføring  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  vil hullavstanden være tilstrekkelig overalt, mens det fremdeles kan bli noe knapt for diffusor D og de innerste hullene på diffusor F ved store vannføringer. Dette gjelder likevel relativt sjeldne ekstremsituasjoner.

## 4. Oppsummering og konklusjon

En overføring til VEAS av overløpsvann fra Lysakeroverløpet vil gi følgende positive effekter:

1. Forbedring av badevannskvaliteten i Lysakerfjorden.
2. Klar forbedring av kloakksøppelsituasjonen i Lysakerfjorden.
3. Lokal avlastning av næringssalter og partikler i Lysakerfjorden.
4. Mindre direktetilførsler av næringssalter til fotosyntesesonen i sommerhalvåret.
5. Redusert total antropogen fosforbelastning på fjorden med mellom 3-8 %.
6. Noe forbedret vannutskiftning i fjordens mellomlag som følge av redusert egenvekt ved tilførsel av mer ferskvann (ikke kvantifisert).
7. Noe økt oksygenforbruk på mellomnivåer som følge av økte tilførsler av ammonium (ikke kvantifisert).

Disse positive virkningene er knyttet til situasjoner med stor vannføring, og at vann som i dag går urensset ut i overflaten overføres til dyputslipp etter delvis rensing. Når diffusoranlegget utvides med grunnere hull for å håndtere slike situasjoner, vil det imidlertid bli noe mindre gunstig for lave og normale vannføringer enn før utvidelsen, fordi en del av utslippet da flyttes til diffusorhull på mindre dyp, sammenlignet med dagens situasjon. Dette er det ikke mulig å unngå når alt vann går ut gjennom en felles tunnel og sjakt og utslippsdypet varierer såpass mye mellom diffusorer og langs hver diffusor. Den foreslåtte, justerte løsningen vil imidlertid holde innlagingsdypet innenfor de samme grenser som i dag, selv om fordelingen innenfor disse grensene blir forskjøvet noe i retning av innlagring høyere opp. Allerede utvidelsen med diffusor D har gitt en slik effekt. Ved store vannføringer vil endringene bli mindre, og det er ikke problemer med innlagring og fortynning av maksimal vannføring på 11 m<sup>3</sup>/s i et utvidet anlegg; forholdene blir ikke særlig annerledes enn for dagens maksimalvannføring på 6.8 m<sup>3</sup>/s gjennom det eksisterende anlegget. Den foreslåtte løsningen representerer en balanse mellom hensynet til å kunne ta mot store vannmengder ved flom for å unngå overløp og hensynet til innlagrings- og fortynningsforholdene i vanlige driftssituasjoner.

## 5. Litteratur

Miljøtilsynet, 2002. Oversendelse av rapport fra strandinspeksjonen. Notat fra Oslo Vann- og avløpsetaten v/ Eli Grimsby.

VEAS årsmelding 2004.

Selvik, J.R. Borgvang, S. Eggstad, H.O. og Tjomsland, T., 2004. Tilførsler av næringssalter til Norges kystområder, beregnet med tilførselsmodellen TEOTIL. NIVA-rapport nr. 4895. SFT-rapport TA-2059/2004.

## Vedlegg A. Forslag til dimensjonering av utvidet diffusoranlegg

x: Horisontal avstand fra fordelerhatt

z: dyp

D<sub>H</sub>: Hulldiameter

L: Rørlengde oppstrøms til neste hull

D<sub>R</sub>: Oppstrøms rørdiameter

Diff.	Gmlt./ Nytt	Hullnr. l=endehull	Sekv.nr. i innlagr.beregn.	x (m)	z (m)	D <sub>H</sub> (m)	L (m)	D <sub>R</sub> (m)
A	gmlt.	1	1	174.1	42	0.24	6	0.443
A	gmlt.	2	2	168.2	41.3	0.18	3.3	0.443
A	gmlt.	3		164.9	41.3	0.185	3.3	0.443
A	gmlt.	4		161.6	41.3	0.19	3.3	0.443
A	gmlt.	5	3	158.3	41.2	0.2	3.3	0.443
A	gmlt.	6		155	41.2	0.175	3.3	0.738
A	gmlt.	7		151.7	41.2	0.175	3.3	0.738
A	gmlt.	8	4	148.4	41.2	0.175	3.3	0.738
A	gmlt.	9		145.1	41.1	0.18	3.3	0.738
A	gmlt.	10		141.8	41.1	0.18	3.3	0.738
A	gmlt.	11	5	138.5	41.1	0.18	3.3	0.738
A	gmlt.	12		135.2	41.1	0.17	3.3	1.108
A	gmlt.	13		131.9	41.1	0.17	3.3	1.108
A	gmlt.	14	6	128.6	41	0.17	3.17	1.108
A	gmlt.	15		125.4	41	0.175	3.45	1.108
A	gmlt.	16		121.9	41	0.175	3.3	1.108
A	gmlt.	17		118.6	41	0.175	3.3	1.108
A	gmlt.	18	7	115.3	41	0.175	3.3	1.108
A	gmlt.	19		112	41	0.175	3.3	1.108
A	gmlt.	20		108.7	41	0.175	3.3	1.108
A	gmlt.	21		105.4	41	0.175	3.4	1.108
A	gmlt.	22	8	102	41	0.175	3.4	1.108
B	gmlt.	1	1	196	55	0.26	6	0.443
B	gmlt.	2	2	190.6	52.3	0.22	4	0.443
B	gmlt.	3		186.9	51	0.23	4	0.443
B	gmlt.	4		182.9	50.4	0.25	4	0.443
B	gmlt.	5		178.9	50.1	0.27	4	0.443
B	gmlt.	6		174.9	49.8	0.205	4	0.738
B	gmlt.	7	3	171	49.6	0.205	4	0.738
B	gmlt.	8		167	49.3	0.205	4	0.738
B	gmlt.	9		163	49	0.21	4	0.738
B	gmlt.	10		159	48.7	0.21	4	0.738
B	gmlt.	11		155	48.4	0.21	4.1	0.738
B	gmlt.	12		150.9	48.1	0.19	4	1.108
B	gmlt.	13		146.9	47.7	0.19	4	1.108
B	gmlt.	14		143	47.2	0.19	4	1.108
B	gmlt.	15	4	139	46.8	0.185	4.1	1.108
B	gmlt.	16		134.9	46.3	0.185	4	1.108
B	gmlt.	17		130.9	45.8	0.185	4	1.108
B	gmlt.	18		127	45.3	0.18	3.6	1.108
B	gmlt.	19		123.4	44.8	0.18	3.5	1.108
B	gmlt.	20		120	44.1	0.18	3.6	1.108

x: Horizontal avstand fra fordelerhatt L: Rørlengde oppstrøms til neste hull				z: dyp		D <sub>H</sub> : Hulldiameter D <sub>R</sub> : Oppstrøms rørdiameter		
Diff.	Gmlt./ Nytt	Hullnr. l=endehull	Sekv.nr. i innlagr.beregn.	x (m)	z (m)	D <sub>H</sub> (m)	L (m)	D <sub>R</sub> (m)
B	gmlt.	21	5	116.4	43.5	0.18	3.6	1.108
B	nytt	22	6	112.9	42.8	0.18	3	1.108
B	nytt	23		110	42.2	0.18	3	1.108
B	nytt	24		107	41.7	0.18	3	1.108
B	nytt	25		104.1	41.1	0.18	3	1.108
B	nytt	26		101.1	40.5	0.15	3	1.108
B	nytt	27	7	98.2	39.9	0.15	3	1.108
B	nytt	28	8	95.3	39.2	0.15	3	1.108
B	nytt	29		92.3	38.6	0.15	3	1.108
B	nytt	30		89.4	38	0.15	3	1.108
B	nytt	31		86.5	37.3	0.15	3	1.108
B	nytt	32		83.5	36.7	0.12	3	1.108
B	nytt	33	9	80.6	36.1	0.12	3	1.108
B	nytt	34	10	77.6	35.6	0.12	3	1.108
B	nytt	35		74.7	35	0.12	3	1.108
B	nytt	36		71.7	34.4	0.12	3	1.108
C	gmlt.	1	1	200	50	0.25	6	0.443
C	gmlt.	2	2	194	49.7	0.23	4	0.443
C	gmlt.	3	3	190	49.2	0.24	4	0.443
C	gmlt.	4		186.1	48.7	0.26	4	0.443
C	gmlt.	5		182.1	48.3	0.27	4.1	0.443
C	gmlt.	6		178	47.7	0.21	3.5	0.738
C	gmlt.	7		174.6	47.2	0.21	3.6	0.738
C	gmlt.	8	4	171	46.7	0.21	3.6	0.738
C	gmlt.	9		167.4	46.1	0.2	3.6	0.738
C	gmlt.	10		163.9	45.6	0.2	3.6	0.738
C	gmlt.	11		160.3	45	0.2	3.7	0.738
C	gmlt.	12		156.7	44.3	0.175	3	1.108
C	gmlt.	13	5	153.8	43.8	0.175	3.1	1.108
C	gmlt.	14		150.7	43.1	0.175	3	1.108
C	gmlt.	15		147.8	42.6	0.175	3.1	1.108
C	gmlt.	16	6	144.7	41.9	0.175	3	1.108
C	gmlt.	17		141.8	41.4	0.175	3	1.108
C	gmlt.	18		138.8	40.9	0.175	3	1.108
C	gmlt.	19		135.8	40.6	0.175	3	1.108
C	gmlt.	20	7	132.9	40.3	0.175	3.1	1.108
C	gmlt.	21		129.8	40.1	0.175	3.1	1.108
C	nytt	22	8	126.7	39.7	0.151	3.1	1.108
C	nytt	23		123.6	39.2	0.151	3.1	1.108
C	nytt	24		120.5	38.8	0.151	3.1	1.108
C	nytt	25		117.5	38.4	0.151	3.1	1.108
C	nytt	26		114.4	38	0.151	3.1	1.108
C	nytt	27	9	111.3	37.5	0.151	3.1	1.108

x: Horisontal avstand fra fordelerhatt L: Rørlengde oppstrøms til neste hull				z: dyp		D <sub>H</sub> : Hulldiameter D <sub>R</sub> : Oppstrøms rørdiameter		
Diff.	Gmlt./ Nytt	Hullnr. l=endehull	Sekv.nr. i innlagr.beregn.	x (m)	z (m)	D <sub>H</sub> (m)	L (m)	D <sub>R</sub> (m)
D	gmlt.	1	1	139	39.5	0.25	7	0.45
D	gmlt.	2	2	132	39	0.15	2	0.45
D	gmlt.	3		130	38.8	0.15	2	0.45
D	gmlt.	4		128	38.7	0.15	2	0.45
D	gmlt.	5		126	38.5	0.15	2	0.45
D	gmlt.	6		124	38.4	0.15	2	0.655
D	gmlt.	7	3	122	38.2	0.15	2	0.655
D	gmlt.	8		120.1	38.1	0.15	2	0.655
D	gmlt.	9		118.1	37.9	0.15	2	0.655
D	gmlt.	10		116.1	37.8	0.15	2	0.655
D	gmlt.	11		114.1	37.6	0.15	2	0.655
D	gmlt.	12		112.1	37.5	0.15	2	0.655
D	gmlt.	13	4	110.1	37.3	0.15	2	0.655
D	gmlt.	14		108.1	37.2	0.15	2	0.92
D	gmlt.	15		106.1	37	0.15	2	0.92
D	gmlt.	16		104.1	36.9	0.15	2	0.92
D	gmlt.	17		102.1	36.7	0.15	2	0.92
D	gmlt.	18		100.1	36.6	0.15	2	0.92
D	gmlt.	19	5	98.1	36.5	0.15	2	0.92
D	gmlt.	20		96.1	36.3	0.15	2	0.92
D	gmlt.	21		94.1	36.2	0.15	2	0.92
D	gmlt.	22		92.1	36	0.15	2	0.92
D	gmlt.	23		90.1	35.9	0.15	2	0.92
D	gmlt.	24		88.1	35.7	0.15	2	0.92
D	gmlt.	25	6	86.2	35.5	0.15	2	0.92
D	gmlt.	26		84.2	35.3	0.15	2	0.92
D	gmlt.	27		82.2	35.1	0.15	2	0.92
D	gmlt.	28		80.2	34.9	0.15	2	0.92
D	gmlt.	29		78.2	34.7	0.15	2	0.92
D	gmlt.	30		76.2	34.5	0.15	2	0.92
D	gmlt.	31	7	74.2	34.3	0.15	2	0.92
D	gmlt.	32		72.2	34.1	0.15	2	0.92
D	gmlt.	33		70.2	33.9	0.15	2	0.92
D	gmlt.	34		68.2	33.7	0.15	2	0.92
D	gmlt.	35		66.3	33.5	0.15	2	0.92
D	gmlt.	36		64.3	33.3	0.15	2	0.92
D	gmlt.	37		62.3	33.1	0.15	2	0.939
D	gmlt.	38	8	60.3	32.9	0.15	2	0.939



x: Horisontal avstand fra fordelerhatt L: Rørlengde oppstrøms til neste hull				z: dyp		D <sub>H</sub> : Hulldiameter D <sub>R</sub> : Oppstrøms rørdiameter		
Diff.	Gmlt./ Nytt	Hullnr. l=endehull	Sekv.nr. i innlagr.beregn.	x (m)	z (m)	D <sub>H</sub> (m)	L (m)	D <sub>R</sub> (m)
F	nytt	1	1	208	42.9	0.24	6	0.554
F	nytt	2	2	202	42.1	0.22	3	0.554
F	nytt	3		199.1	41.8	0.22	3	0.554
F	nytt	4		196.1	41.4	0.22	3	0.554
F	nytt	5		193.1	41	0.22	3	0.554
F	nytt	6		190.1	40.7	0.22	3	0.751
F	nytt	7		187.2	40.3	0.22	3	0.751
F	nytt	8		184.2	39.9	0.22	3	0.751
F	nytt	9	3	181.2	39.5	0.22	3	0.751
F	nytt	10		178.2	39.2	0.22	3	0.751
F	nytt	11		175.2	38.8	0.22	3	0.93
F	nytt	12		172.3	38.5	0.22	3	0.93
F	nytt	13	4	169.3	38.2	0.2	3	0.93
F	nytt	14		166.3	37.9	0.2	3	0.93
F	nytt	15		163.3	37.5	0.2	3	0.93
F	nytt	16	5	160.3	37.2	0.2	3	0.93
F	nytt	17	6	157.4	36.9	0.17	2.5	1.127
F	nytt	18		154.9	36.7	0.17	2.5	1.127
F	nytt	19		152.4	36.4	0.17	2.5	1.127
F	nytt	20		149.9	36.2	0.17	2.5	1.127
F	nytt	21	7	147.4	35.9	0.15	2.5	1.314
F	nytt	22		144.9	35.7	0.15	2.5	1.314
F	nytt	23	8	142.4	35.4	0.15	2.5	1.314
F	nytt	24	9	139.9	35.2	0.12	2	1.314
F	nytt	25		137.9	35	0.12	2	1.314
F	nytt	26		136	34.8	0.12	2	1.314
F	nytt	27		134	34.6	0.12	2	1.314
F	nytt	28		132	34.4	0.12	2	1.314
F	nytt	29		130	34.2	0.12	2	1.314
F	nytt	30	10	128	34	0.12	2	1.314

## Vedlegg B. Beregnet utstrømning fra diffusorinstallasjon i dag og etter utvidelse

Z: Utslippsdyp (m);  $D_s$ : strålediameter (m) etter kontraksjon;  $Q$ : utstrømning i strålen (liter/sekund)

Vannføring (m <sup>3</sup> /s):			2				6.8				11	
Situasjon:			dagens diffusor		etter utvidelse		dagens diffusor		etter utvidelse		etter utvidelse	
Diffusor	Hullnr	Z(m)	$D_s$	Q	$D_s$	Q	$D_s$	Q	$D_s$	Q	$D_s$	Q
A	1	42	0.19	42.3	0.19	20.1	0.19	132	0.19	89.7	0.19	148
	2	41.3	0.14	23.6	0.14	13.8	0.14	68.7	0.14	47	0.14	76.6
	3	41.3	0.14	23.7	0.14	14	0.14	68.5	0.14	46.9	0.14	76.4
	4	41.3	0.14	23.4	0.14	14	0.14	67.3	0.14	46.2	0.14	75.1
	5	41.2	0.14	23.8	0.14	14.3	0.14	68.3	0.14	46.9	0.14	76.2
	6	41.2	0.14	25.5	0.14	14.9	0.14	74	0.14	50.7	0.14	82.6
	7	41.2	0.14	25.2	0.14	14.8	0.14	73.1	0.14	50.1	0.14	81.5
	8	41.2	0.13	24.9	0.13	14.7	0.13	72.1	0.13	49.4	0.13	80.4
	9	41.1	0.14	26	0.14	15.4	0.14	75	0.14	51.4	0.14	83.7
	10	41.1	0.14	25.6	0.14	15.2	0.14	73.7	0.14	50.6	0.14	82.2
	11	41.1	0.13	25.2	0.13	15.1	0.13	72.4	0.13	49.7	0.13	80.7
	12	41.1	0.13	25.8	0.13	15.3	0.13	74.1	0.13	50.8	0.13	82.6
	13	41.1	0.13	25.7	0.13	15.3	0.13	73.8	0.13	50.6	0.13	82.3
	14	41	0.13	25.6	0.13	15.3	0.13	73.5	0.13	50.5	0.13	82
	15	41	0.14	27.1	0.14	16.3	0.14	77.5	0.14	53.2	0.14	86.4
	16	41	0.14	26.9	0.14	16.2	0.14	77.1	0.14	52.9	0.14	86
	17	41	0.14	26.8	0.14	16.1	0.14	76.7	0.14	52.7	0.14	85.5
	18	41	0.13	26.6	0.14	16	0.13	76.3	0.13	52.4	0.13	85
	19	41	0.13	26.5	0.13	15.9	0.13	75.8	0.13	52.1	0.13	84.5
	20	41	0.13	26.3	0.13	15.8	0.13	75.4	0.13	51.7	0.13	84
	21	41	0.13	26.2	0.13	15.7	0.13	74.9	0.13	51.4	0.13	83.5
	22	41	0.13	26	0.13	15.6	0.13	74.4	0.13	51.1	0.13	83

Vannføring (m <sup>3</sup> /s):				2				6.8				11			
Situasjon:				dagens diffusor		etter utvidelse		dagens diffusor		etter utvidelse		etter utvidelse			
Diffusor	Hullnr	Z(m)		D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q
B	gamle hull	1	55					0.21	115	0.21	44.7	0.21	114		
		2	52.3					0.17	75.8	0.17	38.2	0.17	75		
		3	51					0.16	77	0.17	42.7	0.16	76.3		
		4	50.4					0.16	79.7	0.17	46.1	0.16	79		
		5	50.1					0.16	78.2	0.17	46.2	0.16	77.5		
		6	49.8					0.16	85.8	0.16	46.7	0.16	85		
		7	49.6	0.16*	3			0.16	84.3	0.16	46.4	0.16	83.5		
		8	49.3	0.16	8.3			0.15	82.7	0.15	46	0.15	82		
		9	49	0.17	11.9			0.15	84.9	0.16	47.7	0.15	84.1		
		10	48.7	0.17	14.3			0.15	82.9	0.15	47.1	0.15	82.2		
		11	48.4	0.17	16.3			0.15	81	0.15	46.5	0.15	80.3		
		12	48.1	0.15	15.3			0.15	82.9	0.15	46.9	0.15	82.1		
		13	47.7	0.15	17.3			0.15	82.8	0.15	47.3	0.15	82		
		14	47.2	0.15	19.3			0.15	82.7	0.15	47.8	0.15	82		
		15	46.8	0.15	20.1			0.14	78.4	0.14	45.8	0.14	77.7		
		16	46.3	0.15	21.7			0.14	78.3	0.14	46.3	0.14	77.6		
		17	45.8	0.15	23.2			0.14	78.3	0.14	46.8	0.14	77.6		
		18	45.3	0.14	23.2			0.14	74	0.14	44.7	0.14	73.4		
		19	44.8	0.14	24.6			0.14	74	0.14	45.2	0.14	73.4		
		20	44.1	0.14	26.1			0.14	74.1	0.14	45.8	0.14	73.5		
		21	43.5	0.14	27.6	0.14	8.4	0.14	74.2	0.14	46.4	0.14	73.5		
	utvidelse	22	42.8			0.14	12.5			0.14	47	0.13	73.6		
		23	42.2			0.14	15.1			0.14	47.4	0.13	73.6		
		24	41.7			0.14	17.2			0.14	47.8	0.13	73.5		
		25	41.1			0.14	19.2			0.13	48.2	0.13	73.4		
		26	40.5			0.12	14.7			0.11	33.9	0.11	51.1		
		27	39.9			0.12	15.9			0.11	34.3	0.11	51.3		
		28	39.2			0.12	17.1			0.11	34.7	0.11	51.5		
		29	38.6			0.12	18.2			0.11	35.2	0.11	51.7		
		30	38			0.12	19.2			0.11	35.6	0.11	51.9		
		31	37.3			0.12	20.1			0.11	35.9	0.11	52		
		32	36.7			0.1	13.5			0.09	23.3	0.09	33.5		
		33	36.1			0.1	14			0.09	23.6	0.09	33.7		
		34	35.6			0.1	14.5			0.09	23.9	0.09	33.9		
		35	35			0.1	15			0.09	24.2	0.09	34.2		
		36	34.4			0.1	15.4			0.09	24.4	0.09	34.4		

Vannføring (m <sub>3</sub> /s):			2				6.8				11		
Situasjon:			dagens diffusor		etter utvidelse		dagens diffusor		etter utvidelse		etter utvidelse		
Diffusor		Hullnr	Z(m)	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q
C	gamle hull	1	50					0.2	114	0.2	65.5	0.2	123
		2	49.7					0.17	84.9	0.17	49.3	0.17	90.9
		3	49.2					0.17	83	0.17	49.3	0.17	88.7
		4	48.7	0.2*	3.2			0.17	83.7	0.17	51	0.17	89.4
		5	48.3	0.21	16.7			0.16	76.6	0.16	47.9	0.16	81.6
		6	47.7	0.17	15.7			0.16	92.1	0.16	56.4	0.16	98.2
		7	47.2	0.17	19			0.16	90.6	0.16	56.1	0.16	96.5
		8	46.7	0.16	21.8			0.16	88.9	0.16	55.8	0.16	94.7
		9	46.1	0.16	22			0.15	79.3	0.15	50.4	0.15	84.4
		10	45.6	0.16	23.9			0.15	78	0.15	50.2	0.15	82.9
		11	45	0.15	25.5			0.14	76.7	0.14	49.9	0.14	81.4
		12	44.3	0.14	22.6			0.14	73.2	0.14	47.3	0.14	77.7
		13	43.8	0.14	24	0.14	4.9	0.14	73.2	0.14	47.7	0.14	77.7
		14	43.1	0.14	25.3	0.14	9.7	0.14	73.3	0.14	48.2	0.14	77.8
		15	42.6	0.14	26.5	0.14	12.7	0.14	73.4	0.14	48.6	0.14	77.8
		16	41.9	0.14	27.7	0.14	15.2	0.13	73.4	0.14	49.1	0.13	77.8
		17	41.4	0.14	28.8	0.14	17.2	0.13	73.4	0.14	49.5	0.13	77.7
		18	40.9	0.14	29.5	0.14	18.6	0.13	73.3	0.13	49.7	0.13	77.6
		19	40.6	0.14	30	0.14	19.5	0.13	73.1	0.13	49.7	0.13	77.3
		20	40.3	0.14	30.3	0.14	20.2	0.13	72.8	0.13	49.7	0.13	77
		21	40.1	0.14	30.7	0.14	21	0.13	72.6	0.13	49.7	0.13	76.7
	utvidelse	22	39.7			0.12	16.3			0.11	37.2	0.11	57.1
		23	39.2			0.12	17.1			0.11	37.4	0.11	57.1
		24	38.8			0.12	17.9			0.11	37.6	0.11	57.1
		25	38.4			0.12	18.6			0.11	37.8	0.11	57.1
		26	38			0.12	19.2			0.11	38	0.11	57.1
		27	37.5			0.12	19.9			0.11	38.2	0.11	57.1

Vannføring (m <sup>3</sup> /s):			2				6.8				11	
Situasjon:			dagens diffusor		etter utvidelse		dagens diffusor		etter utvidelse		etter utvidelse	
Diffusor	Hullnr	Z(m)	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q
D	1	39.5	0.2	38.6	0.2	17	0.2	123	0.2	83.6	0.2	138
	2	39	0.12	14	0.12	7.9	0.12	41.3	0.12	28.3	0.12	46.2
	3	38.8	0.11	13.9	0.12	8.3	0.11	40	0.11	27.6	0.11	44.7
	4	38.7	0.11	13.7	0.11	8.5	0.11	38.6	0.11	26.7	0.11	43.2
	5	38.5	0.11	13.5	0.11	8.7	0.11	37.2	0.11	25.7	0.11	41.5
	6	38.4	0.12	16	0.12	10.2	0.12	44.3	0.12	30.7	0.12	49.5
	7	38.2	0.12	16.1	0.12	10.5	0.12	43.9	0.12	30.4	0.12	48.9
	8	38.1	0.12	16.1	0.12	10.8	0.11	43.3	0.11	30.2	0.11	48.3
	9	37.9	0.11	16.2	0.12	11.1	0.11	42.8	0.11	29.9	0.11	47.7
	10	37.8	0.11	16.2	0.12	11.3	0.11	42.2	0.11	29.5	0.11	47
	11	37.6	0.11	16.2	0.11	11.6	0.11	41.6	0.11	29.2	0.11	46.3
	12	37.5	0.11	16.2	0.11	11.8	0.11	40.9	0.11	28.8	0.11	45.5
	13	37.3	0.11	16.2	0.11	11.9	0.11	40.3	0.11	28.4	0.11	44.8
	14	37.2	0.12	18.7	0.12	13.5	0.12	47.4	0.12	33.3	0.12	52.7
	15	37	0.12	18.9	0.12	13.8	0.12	47.2	0.12	33.3	0.12	52.5
	16	36.9	0.12	19	0.12	14.1	0.12	47	0.12	33.2	0.12	52.2
	17	36.7	0.12	19.1	0.12	14.3	0.12	46.7	0.12	33.1	0.12	51.9
	18	36.6	0.12	19.2	0.12	14.5	0.12	46.5	0.12	33	0.12	51.7
	19	36.5	0.12	19.3	0.12	14.8	0.11	46.3	0.11	32.9	0.11	51.4
	20	36.3	0.12	19.4	0.12	15	0.11	46	0.11	32.8	0.11	51.1
	21	36.2	0.11	19.5	0.12	15.2	0.11	45.8	0.11	32.7	0.11	50.8
	22	36	0.11	19.6	0.12	15.4	0.11	45.5	0.11	32.6	0.11	50.5
	23	35.9	0.11	19.7	0.12	15.6	0.11	45.3	0.11	32.5	0.11	50.2
	24	35.7	0.11	19.9	0.11	15.8	0.11	45	0.11	32.4	0.11	49.9
	25	35.5	0.11	20	0.11	16.1	0.11	44.8	0.11	32.3	0.11	49.6
	26	35.3	0.11	20.1	0.11	16.3	0.11	44.6	0.11	32.3	0.11	49.3
	27	35.1	0.11	20.3	0.11	16.6	0.11	44.3	0.11	32.2	0.11	49
	28	34.9	0.11	20.4	0.11	16.8	0.11	44.1	0.11	32.1	0.11	48.7
	29	34.7	0.11	20.5	0.11	17	0.11	43.9	0.11	32	0.11	48.5
	30	34.5	0.11	20.7	0.11	17.3	0.11	43.6	0.11	31.9	0.11	48.2
	31	34.3	0.11	20.8	0.11	17.5	0.11	43.4	0.11	31.8	0.11	47.9
	32	34.1	0.11	20.9	0.11	17.7	0.11	43.2	0.11	31.8	0.11	47.6
	33	33.9	0.11	21	0.11	17.9	0.11	42.9	0.11	31.7	0.11	47.3
	34	33.7	0.11	21.1	0.11	18.1	0.11	42.7	0.11	31.6	0.11	47.1
	35	33.5	0.11	21.2	0.11	18.2	0.11	42.5	0.11	31.5	0.11	46.8
	36	33.3	0.11	21.3	0.11	18.4	0.1	42.3	0.11	31.5	0.1	46.6
	37	33.1	0.11	21.8	0.11	18.9	0.11	43.3	0.11	32.2	0.11	47.6
	38	32.9	0.11	21.9	0.11	19	0.1	43.1	0.11	32.1	0.1	47.4

Vannføring (m <sup>3</sup> /s):			2		6.8		11	
Situasjon:			dagens diffusor		etter utvidelse		etter utvidelse	
Diffusor	Hullnr	Z(m)	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q	D <sub>s</sub>	Q
F ny diffusor	2	42.1			0.17	8.7	0.19	85.5
	3	41.8			0.17	13.2	0.17	70.3
	4	41.4			0.17	16.2	0.17	68.1
	5	41			0.17	18.4	0.16	65.2
	6	40.7			0.17	21.9	0.16	61.9
	7	40.3			0.17	23.8	0.17	73.7
	8	39.9			0.17	25.4	0.17	72.5
	9	39.5			0.17	26.8	0.16	71.1
	10	39.2			0.17	27.9	0.16	69.6
	11	38.8			0.17	31.1	0.16	68
	12	38.5			0.17	32.2	0.17	78.5
	13	38.2			0.15	27.4	0.17	77.7
	14	37.9			0.15	28.2	0.15	63.7
	15	37.5			0.15	28.9	0.15	63.2
	16	37.2			0.15	29.6	0.15	62.7
	17	36.9			0.13	23.4	0.14	62.2
	18	36.7			0.13	23.8	0.13	51
	19	36.4			0.13	24.2	0.13	51
	20	36.2			0.13	24.6	0.13	50.9
	21	35.9			0.12	20.1	0.13	50.8
	22	35.7			0.12	20.5	0.12	42.1
	23	35.4			0.12	20.8	0.12	42.2
	24	35.2			0.09	13.5	0.12	42.2
	25	35			0.09	13.7	0.09	27.1
	26	34.8			0.09	13.8	0.09	27.2
	27	34.6			0.09	14	0.09	27.2
	28	34.4			0.09	14.2	0.09	27.3
	29	34.2			0.09	14.3	0.09	27.3
	30	34			0.09	14.5	0.09	27.4

## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnærmingssmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)